



НОВЫЕ
ПРОТИВООПУХОЛЕВЫЕ
АГЕНТЫ

12

БИОХИМИЯ
И ЛЕЧЕНИЕ
АЛКОГОЛИЗМА

20

ПОТЕНЦИАЛ
ФЕНОМИКИ
РАСТЕНИЙ

39

ВЫТОКИ
БЕЛАРУСКАГА
ЭТНАСУ

50

Наука и инновации

№11 (273)
НОЯБРЬ 2025

научно-
практический
журнал



ФАРМАЦЕВТИКА

НА СТЫКЕ НАУКИ
И ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 1618-9857
9 177 818 0985 0011
ISSN 2412-9372 (online)
11



научное
производственное
фармацевтическое
предприятие

Миссия:

Помогать людям
чувствовать
себя лучше
и жить дольше

Государственное предприятие
«АКАДЕМФАРМ» – белорусское
наукоемкое фармацевтическое
предприятие, создано на базе
Национальной Академии наук
Беларуси в 2009 году.





НИКА

научный
подход
к здоровью
на каждый день



Линейка биологически активных добавок НИКА – каждая формула создана для того, чтобы поддержать естественные защитные механизмы организма, укреплять иммунитет, помогать сохранению здоровья и энергии

Почему выбирают НИКА

- **Научный подход** – продукция разработана на основе передовых исследований Института физико-органической химии НАН Беларуси
- **Гарантированное качество** – все добавки проходят многоуровневую проверку и официально зарегистрированы в Минздраве Республики Беларусь
- **Безопасность и эффективность** – строгий контроль на каждом этапе производства обеспечивает надежность и чистоту состава
- **Комплексная поддержка здоровья** – формулы направлены на улучшение иммунитета, укрепление организма и повышение жизненной энергии

Данная информация носит рекламный характер

Заботьтесь о себе!

Больше о бренде НИКА – на сайте
<https://ifoch.by/research/nika/>.
Спрашивайте в аптеках!

Производитель:
ИФОХ НАН Беларуси, 220072,
Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Сурганова, 13.
<https://ifoch.by/research/nika/>
e-mail: lie@ifich.bas-net.by

перед применением ознакомьтесь с инструкцией или проконсультируйтесь с врачом
БАДЫ НЕ ЯВЛЯЮТСЯ ЛЕКАРСТВОМ И НЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ

УНП 100185198



НАУКА
И ИННОВАЦИИ

12

20

39

50

Наука и инновации

№ 11 (273)
ноябрь 2025

Специальный
тематический
выпуск



ФАРМАЦЕВТИКА

НА СТЫКЕ НАУКИ
И ТЕХНОЛОГИЙ



Зарегистрирован в Министерстве
информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации
№388 от 18.05.2009 г.

Учредитель:

Национальная академия наук Беларуси

Редакционный совет:

В.Г. Гусаков –
председатель
совета

П.А. Витязь –
зам. председателя

С.А. Чижик –
зам. председателя

Ж.В. Комарова

В.Ф. Байнев

О.Ю. Баранов

А.И. Белоус

В.Г. Богдан

С.В. Гапоненко

В.Л. Гурский

А.Е. Дайнеко

А.И. Иванец

Н.С. Казак

А.В. Кильчевский

Э.И. Коломиец

С.А. Красный

М.В. Мясникович

О.Г. Пенязьков

Ф.П. Привалов

С.П. Рубникович

О.О. Руммо

С.В. Харитончик

И.П. Шейко

А.Г. Шумилин

С.С. Щербаков

Главный редактор:

Жанна Комарова

Ведущие рубрик:

Ирина Емельянович

Наталья Минакова

Татьяна Жданович

Юлия Василюшина

Дизайн и верстка:

Татьяна Аверкова

Фото на обложке

Артем Овсянников

Адрес редакции:

220072, г. Минск, ул. Академическая, 1-129.
Тел.: (017) 351-14-46,
e-mail: nii2003@mail.ru,
www.innosfera.belnauka.by

Подписные индексы:

007 532 (ведомственная)
007 53 (индивидуальная)

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 9,8. Тираж 481 экз.

Цена договорная.

Подписано в печать 17.11.2025.

Издатель: РУП «Издательский дом
«Беларуская навука». Свид. о гос. рег. №1/18
от 02.08.2013. г. Минск, ул. Ф. Скорины, 40.
Заказ №232.

© «Наука и инновации»

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал обязательна.
За содержание рекламных объявлений редакция ответственности не несет.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей.
Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Содержание

ТЕМА НОМЕРА: ФАРМАЦЕВТИКА НА СТЫКЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Юлия Бородун

Ключевые аспекты фармацевтической безопасности 4

Представлены главные векторы политики белорусского государства
в области фармацевтической безопасности.

Елена Калиниченко, Александр Фарина, Светлана Бабицкая

Исследования и разработки в области фармацевтических субстанций 6

Проанализированы проводимые Институтом биоорганической химии НАН Беларуси
научные исследования в области лекарственных препаратов и фармацевтических
субстанций, осуществляемые на базе научно-производственного центра «ХимФармСинтез».

Зоя Куваева

Вклад ИФОХ в здоровье нации 10

Представлены разработки Института физико-органической химии НАН Беларуси –
фармацевтические субстанции и лекарственные средства, производство которых
налажено на базе научного учреждения.

Елена Королева

Новые противоопухолевые агенты 12

Показаны приоритеты фармацевтической промышленности – производство лекарств
для терапии онкологических заболеваний.

Андрей Гончаров, Ирина Бушмакина, Елена Дуж, Наталья Антонец,
Светлана Суховеева, Людмила Кабашникова, Елена Кабачевская

Биотехнологическая коллекция культур клеток человека, животных, высших растений, водорослей и цианобактерий 15

Представлена Биотехнологическая коллекция культур клеток человека, животных,
калусных высших растений, штаммов водорослей и цианобактерий, ставшая
уникальной платформой для проведения научных исследований.

Елена Радута, Олег Кузнецов

Биохимия и алкоголизм: новые горизонты в терапии 20

Приведены итоги междисциплинарных исследований фундаментальных аспектов
витаминологии и возможности применения витаминов и их производных.
Показаны подходы к регулированию различных нарушений, вызванных
злоупотреблением спиртных напитков.

Ксения Назарова, Ольга Молчан, Ольга Румянцева, Евгений Филатов

Инновационный потенциал и стандарты качества «АКАДЕМФАРМ» 23

Описаны особенности функционирования наукоемкого фармацевтического
предприятия «АКАДЕМФАРМ», обладающего высоким научно-техническим
и кадровым потенциалом, позволяющим осуществлять комплексные изыскания
и выпускать фармацевтическую продукцию.

ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА

Василий Дадалко, Никита Криворучко

Современные подходы к оценке эффективности управления инновационным развитием 25

Представлен обзор традиционных и новых методов оценки эффективности
инновационного развития. Сделан акцент на необходимости перехода от определения
затрат к анализу системного воздействия инноваций, в том числе экологического,
социального и институционального, а также учету отложенного
и нематериального эффекта.

УГОЛ ЗРЕНИЯ

Владимир Гусаков

Наука в Беларуси: возможности и результаты развития 31

Автор рассматривает НАН Беларуси как сложившуюся целостную
многофункциональную систему и выделяет ряд специфических условий
для ее устойчивого и эффективного дальнейшего развития.

ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Екатерина Тавгенъ

Экономические связи Кубы с государствами Большой Евразии 35

Анализируются приоритетные направления развития экономических связей Кубы с такими государствами Большой Евразии, как Китай, Турция, Индия, Иран.

БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Вадим Демидчик, Маргарита Мыслейко, Владислав Бондаренко, Максим Патрин, Вероника Артишевская, Дмитрий Афонников, Мария Черныш

Феномика растений 39

Рассмотрены различные аспекты развития феномики растений – новой области омиксных знаний, изучающей характеристики фенотипа растений в связи с их физиологическими реакциями, экспрессией генов, активностью белков и присутствием ансамблей метаболитов.

БЕЛОРУССКАЯ ИСТОРИОГРАФИЯ

Иван Саверчанка

Вытокі беларускага этнасу 50

Аналізуецца паходжанне беларусаў, фармаванне іх цывілізацыйнай, моўнай, культурнай прыналежнасці пачынаючы ад дагістарычных часоў і эпохі Антычнасці. Даводзіцца, што беларусы ўяўляюць сабой старажытную этнічную групу насельніцтва Еўразіі, якая брала актыўны ўдзел у многіх сусветна вядомых, лёсанасных для кантынента гістарычных падзеях.

СПАДЧЫНА

Алег Дзярновіч, Андрэй Ліхачоў

Невядомы падводны аб'ект на Браслаўшчыне: даследчыя праблемы і перспектывы вывучэння 57

Прыведзены вынікі даследаванняў, якім былі падвергнутыя рэшткі інжынерных збудаванняў, знойдзеных на дне возера Дзерба ў Браслаўскім раёне. Аўтары дзеляцца папярэднімі высновамі аб прызначэнні вывучанага імі аб'екта, яго прыналежнасці да пэўнага гістарычнага перыяду і пэўнага гаспадарчага ведамства адпаведнага часу існавання.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Александр Щавлев, Игорь Анисков, Юрий Семак, Инна Маркова, Ань Суан Нгуен

Наблюдения в планетарном пограничном слое атмосферы на основе беспилотной платформы 65

Представлена новая технологическая концепция точных наблюдений в пограничном слое атмосферы. Обоснованы преимущества данной разработки при проведении измерений в различных целях – от метеорологического прогнозирования до экологического мониторинга.

Александр Ерофеев

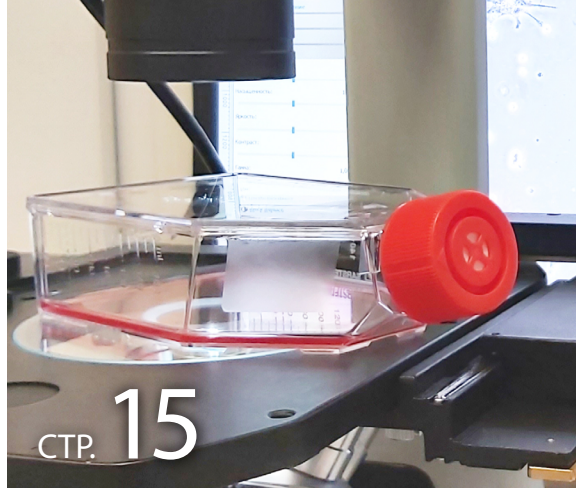
Оценка влияния сбоев в информационных и интеллектуальных системах железнодорожного транспорта на организацию перевозочного процесса 73

Выполнен расчет и установлены закономерности отражения сбоев в работе систем управления на результатах перевозок на железнодорожном транспорте, в том числе влияние на оперативное управление, планирование и регулирование. Доказано, что переход от информационных к интеллектуальным системам позволяет существенно сократить потенциальные потери, даны рекомендации по снижению рисков и ущерба в системе организации перевозок.

Сергей Коротков, Виктория Смольникова, Виктория Гриневич, Олег Коротков, Денис Ефимов, Светлана Кривенко, Олег Руммо

Иммунный статус пациентов после трансплантации печени при комбинированной локальной и системной терапии мезенхимальными стволовыми клетками 78

Показано, что комбинированная терапия мезенхимальными стволовыми клетками способствует ускоренному восстановлению функции трансплантированной печени, при возникновении отторжения влияет на протекание этого процесса в менее выраженной форме и препятствует случаям острого гуморального отторжения, помогает добиться лучших клинических исходов и сократить сроки стационарного лечения.





Ключевые аспекты фармацевтической безопасности

Внимание к сфере разработки и выпуска лекарственных препаратов в последние годы во всем мире многократно возросло в связи с периодически возникающими эпидемиологическими и внешнеполитическими проблемами.

Благодаря усилиям государства наша страна имеет собственную развитую фармацевтическую индустрию. Если три десятка лет назад в Беларуси работало лишь два предприятия, производивших медпрепараты, то уже к 2012 г. их стало 25, а сегодня количество лицензиатов превысило 35. В своих продуктовых портфелях они имеют около 1,8 тыс. наименований препаратов различных фармакотерапевтических групп, многие из которых являются импортозамещающими.

На протяжении последних лет доля отечественных лекарств на внутреннем рынке в стоимостном выражении удерживается на уровне 50%, и это один из самых высоких показателей по сравнению с сопредельными государствами. Доля холдинга «Белфармпром» в фармацевтическом сегменте республики составляет 40%, в общем экспорте – 70%; 67% рынка нашей страны в натуральном выражении представлено отечественными лекарственными средствами.

Разработку, регистрацию и коммерциализацию перспективных разработок предприятия осуществляют совместно с научными организациями Национальной академии наук. За истекшую пятилетку (2020–2024 гг.) белорусскими производителями зарегистрировано более 390 новых препаратов. В соответствии с поручением Главы государства по итогам 2024 г. создано не менее 50 наименований востребованных лекарственных средств.

За 5 месяцев 2025 г. зарегистрирован 21 новый препарат. Среди них первые отечественные генерики: Йогексол, относящийся к йодсодержащим рентгеноконтрастным веществам (раствор для инъекций, приема внутрь и ректального введения, Несвижский завод медицинских препаратов), Кальцитриол Ламира (раствор для приема внутрь, ООО «Ламира-Фармакар»), относящийся к витамину D и аналогам, Дапален (гель для наружного применения, ООО «Ламира-Фармакар») – средство для лечения угревой сыпи и др. До конца текущего года планируется зарегистрировать не менее 50 новых препаратов.

Ежегодно Минздравом реализуется План мероприятий по импортозамещению фармацевтической продукции. В результате работы, проведенной совместно с организациями различных отраслей промышленности, сырье и материалы, ранее закупавшиеся в Украине и странах коллективного Запада, заменяются отечественными аналогами, среди которых: ампулы шприцевого наполнения из медицинского стекла производства холдинга «Белорусская стекольная компания», контейнеры полимерные с портом и колпаком, выпускаемые УП «Алкопак», картонная упаковка из мелованного картона филиала «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда», крахмал картофельный ОАО «Рогозницкий крахмальный завод».

В перспективе планируется освоить выпуск стеклянных

флаконов объемом 10 мл, бутылок для крови, трансфузионных и инфузионных растворов 450 мл, сборных полимерных флаконов для глазных капель, а также спирта этилового абсолютированного (99,5%).

С учетом сложившейся внешнеполитической обстановки фармацевтические организации работают в условиях ряда негативных факторов, значительно влияющих не только на возможность удовлетворения потребностей здравоохранения, но и на стабильную работу организаций в целом.

Белорусские производители в текущей пятилетке смогли обеспечить бесперебойные отгрузки по выпускаемой номенклатуре, несмотря на экономическую и логистическую нестабильность в мире. Необходимо отметить, что фармпредприятия принимают максимально возможные меры по сохранению доступности лекарств для населения с использованием всех имеющихся резервов, проводится соответствующая ценовая политика. Более 50% продукции реализуется по цене, не превышающей в эквиваленте 2 долл. В сравнении со стоимостью импортных аналогов цены на отечественные препараты существенно ниже. Следует отметить, что они востребованы не только в Беларуси и поставляются в 30 стран мира. ■

Юлия Бородун,
пресс-секретарь
Министерства здравоохранения
Республики Беларусь



Елена Калиниченко,
заместитель директора по научной и
инновационной работе Института биоорганической
химии НАН Беларуси – начальник НПЦ
«ХимФармСинтез», доктор химических наук,
член-корреспондент, профессор



Александр Фарина,
заместитель начальника НПЦ
«ХимФармСинтез» по производству
и развитию – начальник
производственного отдела,
кандидат химических наук



Светлана Бабицкая,
завсектором
фармаконадзора и
клинических испытаний НПЦ
«ХимФармСинтез», кандидат
химических наук

Исследования и разработки в области фармацевтических субстанций

В Институте биоорганической химии НАН Беларуси научные исследования в области лекарственных препаратов и фармацевтических субстанций в основном проводятся в рамках научно-производственного центра «ХимФармСинтез», равно как и промышленный выпуск данной продукции. С момента основания института в 1974 г. его сотрудники проводили активные изыскания в области химии низкомолекулярных регуляторов (стероидов, липидов, нуклеотидов и др.) и биополимеров (белков, нуклеиновых кислот и др.). Большое внимание уделялось разработке лекарств на основе синтетических биологически активных соединений. Так, в 1987 г. по собственной оригинальной технологии был создан первый в СССР отечественный противоопухолевый препарат цитарабин, промышлен-

ный выпуск которого наладили на предприятии «Белмедпрепараты».

В дальнейшем ИБОХ стал надежным партнером и поставщиком фармацевтических субстанций для белорусских и российских предприятий. Разработанные в лаборатории химии нуклеотидов и полинуклеотидов (ЛХНиП) оригинальные схемы химического синтеза позволяли получать продукты высокого качества в пилотном и промышленном масштабах. В начале 2000-х гг. руководитель ЛХНиП – доктор химических наук Е.Н. Калиниченко – приняла принципиальное решение о создании на базе Института биоорганической химии полноценного фармацевтического предприятия, отвечающего современным стандартам. Его торжественное открытие с участием Премьер-министра Беларуси Михаила Мясникова состоялось 28 октября 2012 г.

Изначально основной целью НПЦ «ХимФармСинтез» было производство фармацевтических субстанций. Однако уже на стадии проектирования стало понятно, что расширение сферы деятельности путем включения в нее процессов выпуска готовых лекарственных форм может существенно повысить экономическую эффективность. Таким образом, помимо участка субстанций был организован выпуск стерильных препаратов (растворов для инъекций и лиофилизированных порошков), а в 2016 г. – твердых лекарственных форм (таблеток и капсул). Специализация предприятия была обозначена еще на стадии его учреждения. Лекарства именно онкологического профиля идеально вписывались в концепцию наукоемкого высокотехнологичного малотоннажного производства.

Из-за наличия широкого спектра данных заболеваний число пациентов с отдельной патологией, как правило, невелико и не требует больших количеств назначенных препаратов. Кроме того, исторически сложившаяся неблагоприятная экологическая обстановка в стране после аварии на Чернобыльской АЭС обусловила высокую социальную значимость будущего инновационного проекта, отвечающего политике импортозамещения.

Предприятие было оснащено передовым технологическим и аналитическим оборудованием, полностью сертифицированным на соответствие правилам надлежащей производственной практики (GMP). Выпуск фармацевтических субстанций – его ключевая особенность и главное конкурентное преимущество: модульные реакторные системы Центра позволяют адаптировать для промышленного изготовления практически любую химическую схему синтеза, а помещения с контролируемыми условиями окружающей среды и ограничениями по микробиологической нагрузке обеспечивают высокое качество продукции.

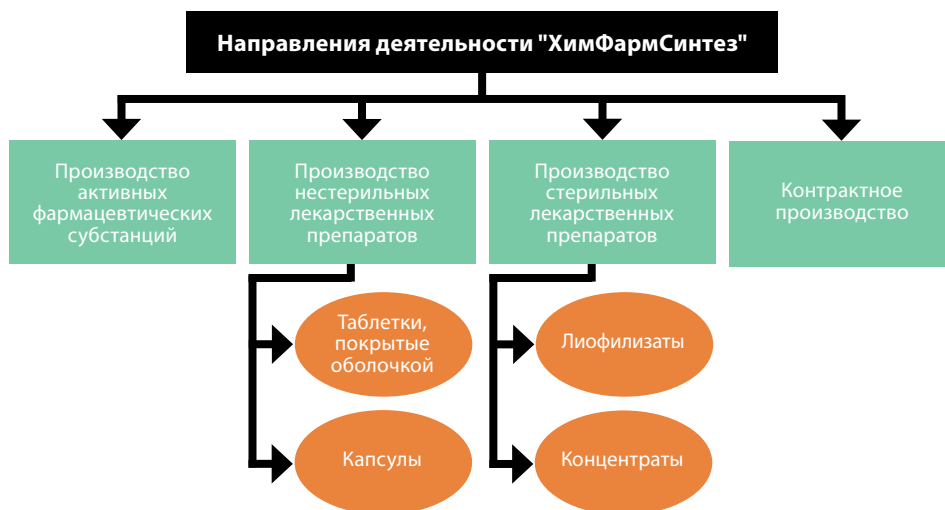
НПЦ «ХимФармСинтез» является и основным потребителем своих фармацевтических субстанций (небольшая их часть поставляется другим белорусскими и российским предприятиям) общим объемом свыше 250 кг, превращая их в готовые стерильные растворы и лиофилизаты, таблетки и капсулы. Конечно, это намного меньше объемов крупных фармацевтических заводов, однако такое количество полностью обеспечивает годовую потребность республики в силу специфики продукции. В последние десятилетия многочисленные исследования и открытия в области онкоге-

неза сформировали устойчивый тренд, предполагающий переход от общетоксических химиотерапевтических препаратов (цитостатиков, антиметаболитов и пр.) к селективным таргетным агентам, которые действуют прицельно на конкретные молекулярные мишени в опухоли и почти не повреждают здоровые клетки.

Номенклатура продукции НПЦ «ХимФармСинтез» включает более 35 наименований противоопухолевых фармацевтических субстанций и созданных на их основе препаратов не только классической терапии рака, но и современных таргетных агентов, действующих на специфическую биологическую мишень в онкоклетках. По большей части это воспроизведенные противоопухолевые средства, признанные в мире «золотым стандартом» и включенные в протоколы лечения злокачественных новообразований различной локализации. Институт является держателем более 45 регистрационных удостоверений. В данный момент активно ведутся работы по регистрации номенклатурной линейки препаратов НПЦ «ХимФармСинтез» для увеличения объема поставок в Российскую Федерацию.

В 2024 г. в НПЦ «ХимФармСинтез» было произведено около 58 тыс. флаконов стерильных порошков и растворов и 600 тыс. таблеток и капсул, объем производства которых составил свыше 25 млн руб. при уровне экспорта почти 45%. Следует отметить, что их стоимость значительно ниже, чем у оригинальных импортных препаратов, что важно, учитывая тот факт, что они относятся к госпитальному сектору, закупаются государством и пациенты обеспечиваются ими бесплатно.

Стратегия развития центра ориентирована на постоянные инновации и расширение рынков сбыта. Новые проекты, как правило, находят широкую поддержку и осуществляются в рамках государственных научных (ГПНИ) и научно-технических (ГНТП) программ. При этом «ХимФармСинтез» самостоятельно проводит часть дорегистрационных и послерегистрационных работ, которые включают: создание технологий производства субстанций и готовых лекарственных форм; количественный и качественный анализ профиля примесей, в том числе остаточных растворителей, в процессе выпуска субстанций; разработку



и валидацию методов определения показателей качества готовой продукции, сырья и промежуточных компонентов; формирование спецификаций; токсикологическую оценку, разработку и валидацию способов очистки приборов и оборудования; изучение стабильности; сравнительные испытания; составление протоколов и мониторинг клинических и биоэквивалентных исследований и др.

Специалисты центра имеют большой опыт регистрации фармацевтической продукции как в рамках национальной процедуры Республики Беларусь, так и с учетом новых требований Евразийского экономического союза, в соответствии с которыми в 2024 г. было зарегистрировано 4 новых препарата. В 2025 г. в регуляторный орган Республики Беларусь подано 11 регистрационных досье лекарственных препаратов для приведения в соответствие с требованиями ЕАЭС.

Современные технологии в разработке субстанций и лекарственных препаратов

Научно-исследовательскую деятельность НПП «ХимФармСинтез» можно разделить на два основных направления: разработка технологий производства фармацевтических субстанций и препаратов, а также работы по созданию новых биологически активных химических соединений и получение на их основе оригинальных лекарственных средств.

В рамках первого пункта наиболее наукоемким процессом считается разработка оригинальной эффективной схемы синтеза выбранной субстанции, которая обеспечит качественный конечный фармацевтический продукт при наименьших затратах. В этой

связи следует отметить, что институтом, в том числе в результате совместных проектов с другими подразделениями НАН Беларуси, были разработаны оригинальные методы синтеза для всех выпускаемых субстанций. Наиболее значимыми примерами такого сотрудничества являются: создание оригинального высокоэффективного метода получения полупродукта субстанции иматиниба (с коллегами из Института химии новых материалов и Института физико-органической химии); оригинальная химико-энзиматическая технология производства субстанций ряда противоопухолевых агентов пуринового ряда с использованием биотехнологических ферментных препаратов Института микробиологии.

При изготовлении жидких (лиофилизаты, концентраты) и твердых (капсулы, таблетки) лекарственных форм используются современные подходы для разработки отечественных технологий.

Например, ультразвуковая обработка растворов позволяет на порядок ускорить растворение фармсубстанций, что особенно важно для соединений, подвергающихся быстрой деградации в водных средах.

При создании твердых лекарственных форм применяется метод прямого прессования или с использованием влажной грануляции высоким сдвигом или грануляции в псевдооживленном слое. Разрабатывается технология получения таблеточных форм пролонгированного действия с использованием действующего вещества в виде комплекса субстанции с гидроксипропил- β -циклодекстрином.

НПП «ХимФармСинтез» поддерживает 8 патентов Республики Беларусь и ЕАЭС, связанных с

фармацевтическими субстанциями, значительная часть инноваций – в формате ноу-хау.

Основными результатами работ по поиску потенциальных лекарственных агентов являются:

- *получение нового фторсодержащего аналога противолейкозных агентов децитабина и азацитидина. В первых исследованиях соединение продемонстрировало идентичную оригинальным препаратам противоопухолевую активность, при этом обладало более благоприятным фармакокинетическим и токсическим профилями;*
- *идентификация новых противоопухолевых агентов класса ингибиторов протеинкиназ. В ходе многолетних изысканий при помощи современных методов рационального конструирования лекарств (фармакофорного дизайна, молекулярного моделирования, виртуального скрининга и теоретической оценки эффективности связывания для комплексов «белок – лиганд») обнаружены и синтезированы новые химические структуры с установленной противоопухолевой и противокиназной активностью. Авторы данной работы стали лауреатами конкурса «Топ-10» НАН Беларуси за 2019 г., она также послужила основой для вручения в 2023 г. работникам НПП «ХимФармСинтез» Е.Н. Калиниченко, А.В. Фарине и Т.С. Божок премии Академии наук;*
- *обнаружение новых противотуберкулезных агентов на основе производных изофталевой кислоты, активных в лабораторных условиях в отношении резистентных штаммов микобактерий.*

Научные сотрудники центра задействуют в своей работе технологии искусственного интеллекта и машинного обучения, большие языковые модели для сбора и систематизации фармацевтической информации, проводят оценку возможностей инструментов генеративного ИИ для конструирования новых специфических антагонистов различных биологических мишеней.

Клинические исследования

Неотъемлемый этап разработки препаратов – клинические исследования (КИ), проводимые с целью оценки их эффективности и безопасности или расширения показаний к применению. Без положительного заключения ни одно лекарство не может быть зарегистрировано и выведено на рынок. Испытания осуществляются в соответствии с Правилами надлежащей клинической практики (GCP), что гарантирует защиту прав пациентов и достоверность результатов.

В протоколе, разрабатываемом сотрудниками группы фармаконадзора и клинических испытаний, описан план, зафиксированы цель, задачи, дизайн, методология, статистические и организационные аспекты работ. Для получения разрешения Министерства здравоохранения на проведение КИ формируется пакет документов (порядка 30 наименований), который проходит проверку в Центре экспертиз и испытаний в здравоохранении, а затем в Национальном этическом комитете.

Важным этапом является изучение биоэквивалентности (*in vitro* и/или *in vivo*) для доказательства соответствия воспроизведенного (гибридного) препарата

оригинальному (референтному) по фармакокинетическим параметрам. Одновременно анализируются нежелательные реакции, возникающие при приеме экспериментального препарата в сравнении с таковыми для референтного. Если биоэквивалентность подтверждена, они признаются взаимозаменяемыми.

За время работы НПЦ «ХимФармСинтез» были проведены КИ одного оригинального препарата для лечения рассеянного склероза (лейковир) и 4 воспроизведенных противоопухолевых (азациитидин, бортезомиб, децитабин, клофарабин), а также биоэквивалентные исследования 5 средств онкологического профиля (индоксаниб, нилотииниб-НАН, пазопаниб, флударабел таблетки, флутриксан). КИ при участии пациентов с онкологическими диагнозами гематологического, а в случае лейковира – неврологического профиля проводились в аккредитованных государственных медучреждениях Минска и областных центров республики. Все члены исследовательских команд имели необходимую подготовку и проходили обучение по GCP.

Биоэквивалентность лекарственных препаратов Центра подтверждается на базе Национальной антидопинговой лаборатории, где начаты работы по таблеткам лапатиниба, в ближайшем будущем будет исследован иматиниб. КИ проводятся как за счет собственных средств Института биоорганической химии, так и благодаря финансированию научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ в рамках государственных научно-технических программ по разработке фармацевтических субстанций и лекарственных средств.

КИ весьма продолжительны по времени. В случае с онкологическими заболеваниями увидеть, насколько медикамент эффективен, можно только через месяцы, а то и годы. Набор пациентов для наблюдения может занять несколько лет, особенно если речь идет об испытании средства для лечения редкого (орфанного) заболевания. Не все страдающие тем или иным недугом могут быть задействованы в исследовании. После проверки на соответствие критериям включения или невключения необходимо получить информированное согласие человека на участие.

Не всегда легко найти подходящих людей, особенно когда им это не дает прямой выгоды (участие в КИ II–IV фазы не оплачивается; монотерапия препаратом может проигрывать стандартным протоколам лечения с помощью полихимиотерапии и пр.). В качестве преимуществ можно выделить доступ больных к углубленному обследованию с применением высокоинформативных лабораторных тестов и аппаратных методик. В соответствии с международными стандартами при проведении КИ любого уровня в приоритете – безопасность и благополучие пациентов, о которых в первую очередь должен заботиться ученый, чего бы ни требовали интересы науки.

Подводя итоги, можно отметить, что НПЦ «ХимФармСинтез» является примером успешного сочетания научных разработок и промышленного производства, обеспечивая импортозамещение и высокое качество фармацевтической продукции. В планах на ближайшее будущее – освоение новых биотехнологических направлений и создание оригинальных лекарственных средств. ■

Вклад ИФОХ в здоровье нации



Зоя Куваева,
заведующий отделом
лекарственных веществ
Института физико-
органической химии
НАН Беларуси, доктор
химических наук,
профессор



В Институте физико-органической химии НАН Беларуси функционирует производство фармацевтических субстанций и лекарственных средств. Производство малотоннажное и создано с целью разработки и выпуска оригинальных фармацевтических субстанций и лекарственных препаратов.

На текущий момент институт имеет бессрочные регистрационные удостоверения на 14 фармацевтических субстанций, часть из которых поставляется на предприятия республики, например, на РУП «Белмедпрепараты» – алендронат натрия для производства алендроновой кислоты, ингибирующий резорбцию костных тканей. N-ацетилпролин входит в состав Гроцепрола с противовоспалительным и болеутоляющим действием. Глицилглицин – суб-

станция для изготовления препарата Гепавилаг, применяемого как средство нутритивной и фармакологической компенсации синдрома мальнутриции при хронических диффузных заболеваниях печени, особенно при циррозах. L-аргинина L-аспартат, таурин и натрий янтарнокислый, выпускаемый в форме натрия сукцината 6-водного, предназначены для применения в качестве фармацевтических субстанций лекарственных препаратов, используемых в общемедицинской практике для инфузионного применения – Аминогамовен и Гамамин 40 (Несвижский завод медицинских препаратов). Ди-L-аргинина сукцинат поставляется в Российскую Федерацию.

Зарегистрировано и производится 7 лекарственных препаратов по полному циклу – от субстанции до готовой лекарственной формы: Бемитон (актопро-

текторного действия), Модафен (относится к группе психоаналептиков, симпатомиметиков центрального действия), Оксигенин (для лечения острого синдрома отмены алкоголя), инъекционная форма Нефопам-Ника (для симптоматического лечения болевого синдрома, в том числе послеоперационной боли, выпускается совместно с РУП «Белмедпрепараты»), а также 3 лекарственных препарата для лиц, занимающихся экстремальными видами деятельности.

В настоящее время в рамках выполнения двух мероприятий Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 гг. (заказчик – НАН Беларуси) разрабатываются противоопухолевый лекарственный препарат Онкоцитопепт, антипсихотический препарат Нормолит, а также по отдельному проекту НАН Беларуси – капсульная форма анальгезирующего средства центрального действия Нефопам-Ника. Субстанции для указанных препаратов производятся в ИФОХ НАН Беларуси.

Создана линейка биологически активных добавок (БАД) к пище и спортивного питания под торговой маркой «НИКА». БАДы – это природные или идентичные им вещества, предназначенные для употребления одновременно с пищей, обладающие заметной биологической активностью: способностью влиять на физиологические процессы в организме. Прием БАДов профилактирует заболевания, укрепляет иммунитет и ускоряет процессы восстановления (а не лечения и устранения симптомов болезней). Добавки можно принимать продолжительное время, делая перерывы, тогда как лекарства (если речь идет не о хронических забо-

леваниях) рассчитаны на курсовой прием. Добавки не могут нанести вред человеку: исходя из того, что имеют в составе естественные компоненты, они оказывают выраженное фармакологическое и физиологическое влияние на основные метаболические и регуляторные процессы организма. В развитых странах данные средства давно заняли свою нишу: в Японии они вошли в повседневный рацион более 50 лет назад и применяются 90% населения, в США получили свое распространение около 20 лет назад и 80% жителей понимают их необходимость, в Германии и Франции – около 60%. Среди ученых и практикующих врачей сложилось мнение, подкрепленное множеством исследований, что БАДы поддерживают здоровье и значительно улучшают качество жизни. Они оказывают влияние непосредственно на причину возникновения болезни, а не на ее следствие, практически не имеют побочных эффектов, не вызывают аллергии (исключая личную непереносимость компонентов), активные компоненты не накапливаются в организме и не наносят токсический вред человеку.

Рынок добавок в нашей стране достаточно велик, но заполнен, к сожалению, преимущественно продукцией зарубежных производителей. Законодательством не предусмотрено ее сопровождение сертификатом качества, допускается использование декларации качества, что является существенным недостатком, из-за которого очень часто заявленный состав не соответствует действительности.

БАДы, выпускаемые ИФОХ НАН Беларуси под брендом «НИКА», имеют государственную регистрацию в Минздраве Республики Беларусь согласно требованиям Технического

регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011. Это означает, что все средства прошли многоступенчатую систему испытаний образцов, проведена их экспертная оценка и вынесены заключения, касающиеся результатов исследований, документации, условий производства. При регистрации содержание биологически активных веществ и их суточная доза потребления проверяются на соответствие «Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)», тем самым гарантируется не только полезное, но и безопасное биологическое воздействие на организм.

В отделе лекарственных веществ ИФОХ НАН Беларуси разработано 16 наименований БАДов, содержащих высокоочищенные биологически активные вещества, большинство которых синтезируются в институте на фармацевтическом производстве, аттестованном по требованиям GMP ЕАЭС. Они нацелены на устранение усталости, повышение работоспособности (НИКА ГЕРОГАРД, НИКА ЭНЕРГОТОН и НИКА БЕТА-АЛАНИН); поддержание сердечно-сосудистой системы (НИКА ТАУРИН, НИКА КАРНИТИН, НИКА КАРДИОТОН) и центральной нервной системы (НИКА МЕМОТОН, НИКА ЦЕРЕБРОСТИМ); восполнение недостатка макро- и микроэлементов (НИКА МСМ, НИКА СЕЛЕН, НИКА Ц2, НИКА ПРОДЕРМО). Спортсменам и людям, ведущим активный образ жизни, предлагается спортивное питание: НИКА ВСАА 2:1:1, НИКА СПОРТ, НИКА ЭНЕРГИЯ, НИКА АРГИНИН СПОРТ, НИКА ДМАЭ, НИКА ГУАРАНА. ■

Фото Артема Овсянникова



Новые противоопухолевые агенты

Синтез новых соединений в качестве потенциальных субстанций лекарственных средств – актуальное направление для решения важной социальной задачи – охраны здоровья людей. Одной из приоритетных целей фармацевтической промышленности является производство лекарств для терапии онкологических заболеваний.



Елена Королева,
главный научный сотрудник
Института химии новых
материалов НАН Беларуси,
доктор химических наук,
профессор

Химиотерапия – широко используемый метод, обеспечивающий хороший клинический результат и длительную ремиссию. Применение органических молекул обусловило революционный прорыв в терапевтической онкологии начала XXI в. Успехи в данной области связаны с созданием на основе низкомолекулярных органических соединений ингибиторов киназ, блокирующих каталитический процесс продуцирования раковых клеток. Установление природы подавления опухолевых процессов органическими соединениями и открытие в ряду

производных пиримидина первых ингибиторов протеинкиназ – одно из наиболее значительных достижений в медицинской химии и фармакологии, а разработка и применение иматиниба для лечения хронического миелолейкоза и ряда солидных опухолей стали мощным стимулом дальнейшего интенсивного развития данной области синтетической химии.

Иматиниб – лекарственное средство, действующим веществом которого является низкомолекулярное органическое соединение 2-ариламинопиримидиновый амид пиперази-

нилбензойной кислоты, одобренное FDA (управление по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств США) в 2001 г. для лечения хронического миелоидного лейкоза (ХМЛ). Препарат взаимодействует с АТФ-связывающим центром тирозинкиназы Bcr-Abl, возникающей в результате образования филадельфийской хромосомы, и ингибирует энзиматическую активность в клетках белка, экспрессирующих этот гибридный белок при Ph-позитивном ХМЛ. Это приводит к блокировке сигнала пролиферации в BCR-ABL-позитивных клетках, в результате чего они подвергаются апоптозу.

Среди многообразия азотсодержащих гетероциклических соединений значительный интерес представляют производные пиримидина, проявляющие различные виды биологической активности и широко применяемые в практике. Фрагмент 2-аминопиримидина присутствует в молекулах действующих веществ многих известных препаратов (веронал, сульфадiazин, фторурацил, иматиниб, розувастатин), что делает его привлекательным и актуальным объектом органического синтеза на протяжении последних десятилетий.

В первое десятилетие XXI в. иматиниб в ряду терапевтических средств сменил в лечении хронического миелолейкоза менее эффективные интерферон и цитарабин. Воздействуя непосредственно на молекулярно-генетическую причину заболевания, при условии непрерывного приема иматиниб обеспечивает достижение и поддержание ремиссии. Он входит в число противолей-

козных средств первой линии для лечения данного недуга и признан революционным препаратом при терапии определенных форм онкологических и онкогематологических заболеваний. Разработка промышленной технологии синтеза его действующего вещества, находившегося до 2007 г. под патентной защитой, и последующее освоение выпуска отечественной субстанции чрезвычайно актуальны для Беларуси. Синтез новых аналогов иматиниба для улучшения качества химиотерапии онкобольных проводится в Институте химии новых материалов с 2005 г.

Практическая реализация научных исследований в 2010–2012 гг. была нацелена на получение эффективной технологии химического синтеза действующего вещества – метансульфоната иматиниба и освоение производства импортозамещающей субстанции противоопухолевого и противолейкемического лекарственного средства.

С 2006 г. в ИХНМ НАН Беларуси в рамках ГПОФИ «Физиологически активные вещества» выполнялось задание 1.14 «Разработка методов синтеза производных N-арил, N-пиримидиниламинов и исследование их биологического действия в качестве ингибиторов киназ» (руководитель – доктор химических наук Е.В. Королева). Исследования были ориентированы как на разработку эффективной схемы получения субстанции лекарственного препарата, так и на синтез его новых аналогов для последующего исследования их биологического действия и создания новых фармацевтических продуктов.

В 2010–2012 гг. в институте работали над заданием Государственной программы «Импортозамещающая фармпродукция» подпрограммы «Фармсубстанции и готовые лекарственные средства», в результате выполнения которого создана опытно-промышленная технология производства фармацевтической субстанции противолейкемического (противоопухолевого) препарата и внедрена на опытно-экспериментальном участке Института биоорганической химии НАН Беларуси (ныне – «Химфармсинтез» ИБОХ). В ходе работы над проектом исполнители – сотрудники ИХНМ и ИБОХ – усовершенствовали технологию синтеза действующего вещества иматиниб с помощью эффективных методик, обеспечивших масштабируемый технологический процесс. Образцы по данным тестов показали высокую специфическую активность воспроизведенной субстанции. В итоге разработана опытно-промышленная технология синтеза, а также организован выпуск субстанции в научно-производственном центре «Химфармсинтез» ИБОХ НАН Беларуси.

Лабораторную технологию адаптировали к параметрам оборудования предприятия, задействовали наиболее безопасные, нетоксичные и доступные растворители и реагенты; был минимизирован объем побочных веществ и реакций, что обеспечило увеличение выхода продукции, сокращение энергозатрат, объема растворителей, времени синтеза. Технология производства метансульфоната иматиниба запатентована, ряд ключевых операций оформлены как ноу-хау,

по качеству фармсредств отвечает требованиям мировых стандартов, не уступая оригинальной (фирмы «Новартис»).

Исследование молекулярных механизмов, лежащих в основе образования и развития ракового процесса, определило решающую роль киназ в канцерогенезе. Было установлено, что появление злокачественных опухолей обусловлено дисфункцией киназ из-за перестановок хромосом и генетических мутаций. Это открытие произвело революцию в терапии заболеваний и обосновало новую стратегию химиотерапии. Успехи в данной области связаны с созданием на основе низкомолекулярных органических соединений ингибиторов киназ, которые блокируют каталитический процесс продуцирования патологических клеток. Таким образом, эффективность химиотерапии непосредственно связана и определяется прогрессом в области синтетической органической химии, которая в последние десятилетия стала быстро развивающейся областью исследований, а разработка низкомолекулярных ингибиторов белков-ферментов приняла целенаправленный характер. Эти соединения показали высокую эффективность при лечении онкозаболеваний, особенно для случаев специфических мутаций, которые в основном управляют онкогенезом и в результате которых первоначально первоклассные противораковые лекарства не всегда оказывались лучшими после их длительного применения.

Главная проблема, возникающая при лечении различных заболеваний, – возникновение резистентности к препаратам и проявление опасных побоч-

ных эффектов. За последние два десятилетия были разработаны и одобрены FDA более 20 других эффективных ингибиторов протеинкиназ, механизм действия которых основан на блокаде активных центров ферментов. Однако, несмотря на большое количество находящихся в клинической практике противораковых препаратов, все они проявляют высокую токсичность, и ко многим из них возникает лекарственная устойчивость, что свидетельствует о проблеме обеспечения эффективного действия с помощью моноклеточной терапии. Когда была обнаружена невосприимчивость к такому лечению, обусловленная мутацией протеинкиназ, исследования в данной области сосредоточились на разработке лекарств, способных воздействовать на более чем одно звено в цепи опухолевого процесса, в том числе на мутированные ферменты. Практикой применения препаратов в клинике было установлено, что изменение спектра их терапевтического действия может привести к повышению эффективности за счет мультитаргетного (многоцелевого) воздействия на путь передачи сигнала в клетках. В соответствии с новой парадигмой подходы были переориентированы на мультитаргетные ингибиторы, содержащие два или более структурно различных фармакофора, способных усиливать активность известных противоопухолевых препаратов. В последнее время многообещающей стратегией поиска веществ с более высоким сродством к молекулярной мишени и улучшенными фармакологическими свойствами стал синтез химерных (гибридных) молекул с помощью ком-

бинации фармакофоров из разных соединений с противоопухолевой активностью, связанных в единую конструкцию.

В 2020–2025 гг. в ИХНМ выполняется задание в рамках НИР «Разработка новых противоопухолевых органических соединений 2-амино-пиримидинового ряда с использованием методов фармакофорного моделирования и химического синтеза» ГПНИ «Конвергенция-2025». Планируется синтезировать новые производные 2-ариламинопиримидина, имеющие в молекуле фрагменты фармакофорных азотсодержащих гетероциклов, в качестве потенциальных низкомолекулярных ингибиторов ферментов опухолевых процессов.

Данная стратегия послужила основой формирования дизайна гибридных амидов, сочетающих разнообразные комбинации азотсодержащих гетероциклов – 2 ариламинопиримидина, пиридина, пиперазина, хинолина и бензимидазола, представляющих собой ключевые фармакофоры многих противоопухолевых лекарств с различными механизмами действия. Синтезированы соединения и определена *in vitro* их ингибирующая активность, выполнен *in silico* анализ фармакологических свойств молекул. На основе экспериментальных и расчетных данных отбираются соединения-лидеры, представляющие собой перспективные базовые структуры для создания новых противоопухолевых агентов – многоцелевых ингибиторов протеинкиназ. ■

Андрей Гончаров,
директор Института биофизики
и клеточной инженерии НАН
Беларуси, кандидат медицинских
наук, доцент

Ирина Бушмакина,
заведующий научно-
производственным сектором
Института биофизики и
клеточной инженерии
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук

Елена Дуж,
заведующий лабораторией
иммунологии и вирусологии
Института биофизики и
клеточной инженерии
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук

Наталья Антоневиц,
ведущий научный сотрудник
Института биофизики и
клеточной инженерии
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук, доцент

Светлана Суховеева,
заведующий лабораторией
молекулярной биологии и
биотехнологии клеток Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН Беларуси,
кандидат биологических наук

Людмила Кабашникова,
заведующий лабораторией
прикладной биофизики и
биохимии Института биофизики
и клеточной инженерии
НАН Беларуси, член-
корреспондент

Елена Кабачевская,
заведующий лабораторией
биофизики и биохимии
растительной клетки Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН Беларуси,
кандидат биологических наук,
доцент

Биотехнологическая коллекция культур клеток человека, животных, высших растений, водорослей и цианобактерий

Развитие важнейших и приоритетных направлений современных биологии, медицины, ветеринарии и земледелия, а также биотехнологических производств невозможно без широкого использования культур клеток человека, животных и растений. Существует более 1500 линий клеточных культур разнообразного происхождения, применяемых в различных областях медицины, биологии и биотехнологии [1, 2].

Для унификации диагностических методов и технологических приемов необходимо задействовать сертифицированные стандартизированные клеточные культуры. Решение данной проблемы в ведущих странах мира достигнуто путем формирования национальных коллекций клеточных культур, главная задача которых – выведение, сбор, характеристика и сохранение эталонных клеточных линий человека, животных и растений, а также обеспечение фундаментальных и прикладных исследований и биотехнологических производств надежным материалом. Наиболее крупными в мире являются Американская коллекция типовых культур (ATCC, American Type Culture Collection) и Европей-

ская коллекция клеточных культур (ECACC, European Collection of Authenticated Cell Cultures). Бурное развитие биоиндустрии и стремительно возрастающая ценность клеточных линий с сопутствующим уменьшением ограничений международного распространения клеток, имеющих практическое применение, стимулировали создание в течение последних десятилетий ряда новых национальных коллекций клеточных культур в странах Европы (Германии, Англии, Франции, России и др.) и Азии (Японии, Китае).

В Институте биофизики и клеточной инженерии в ходе реализации программ различного типа (ГПНИ «Фундаментальные основы биотехнологии», «Биотехнологии», «Биотехнологии-2»,

ГНТП «Агрокомплекс», ГП «Инновационные биотехнологии», ГП «Наукоёмкие технологии и техника», отдельные проекты НАН Беларуси, задания БРФФИ и др.) силами нескольких лабораторий – иммунологии и вирусологии, биофизики и биохимии растительной клетки, молекулярной биологии и биотехнологии клеток, прикладной биофизики и биохимии – были сформированы коллекции перевиваемых клеточных линий человека и животных, биомедицинских клеточных продуктов, образцов тканей растений и суспензионных клеточных культур, водорослей и цианобактерий, объединенные при выполнении отдельного проекта научных исследований НАН Беларуси в 2019 г. в общую биотехнологическую коллекцию культур клеток человека, животных, высших растений, водорослей и цианобактерий.

Коллекция перевиваемых клеточных культур человека и животных

На базе лаборатории иммунологии и вирусологии создана коллекция перевиваемых клеточных культур человека и животных, насчитывающая 37 линий. Организован криобанк, разработаны и утверждены два лабораторных регламента на производство монослойных и суспензионных перевиваемых линий клеток. Их консервация в состоянии глубокого замораживания (минус 196 °С) гарантирует сохранение жизнеспособности в течение длительного времени (десяtkи лет), исключает реинфицирование, генетические изменения, потерю морфогенного потенциала в культуре. Именно

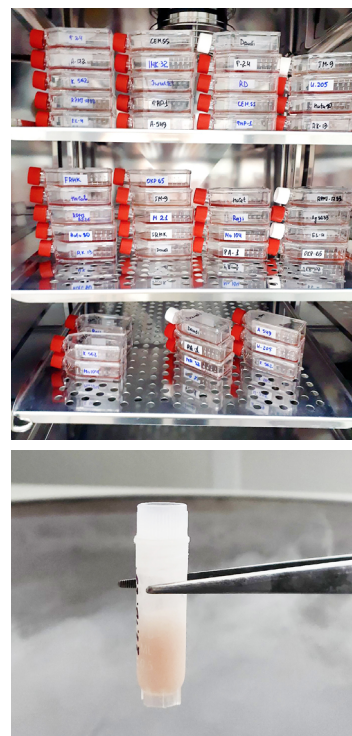
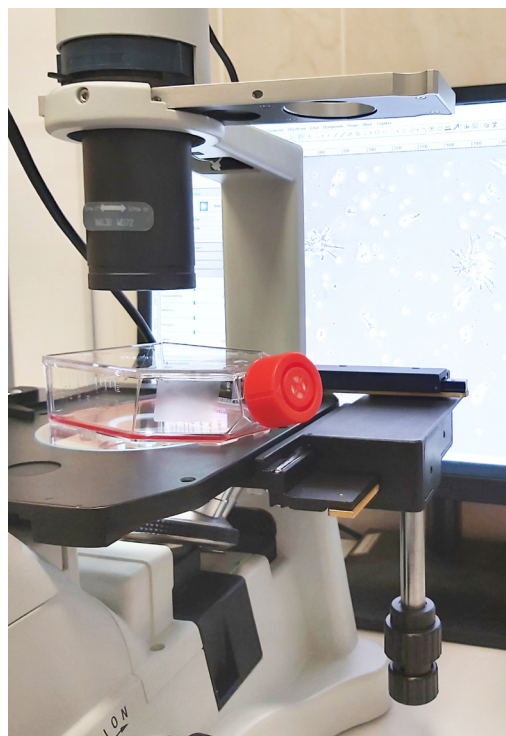


Рис. 1. Общий вид коллекции перевиваемых клеточных культур человека и животных

криотемпературы обуславливают торможение физико-химических реакций в клетках вплоть до их прекращения, остановку метаболических и генетических процессов, сохранение генетического аппарата в исходном состоянии (рис. 1).

Перевиваемая клеточная линия обладает рядом преимуществ над первичной культурой, которая имеет ограниченную продолжительность жизни после определенного числа делений и труднее культивируется и поддерживается. Основная функция коллекции криобанка – постоянное обеспечение научно-практических учреждений качественным охарактеризованным и стерильным биологическим материалом, разработка и внедрение новых технологий культивирования клеток, криоконсервации, восстановления из низкотемпературных условий их хранения, а также пополнение фонда. Созда-

ние криобанка, а также интерес к *in vitro*-методам актуальны и с этической точки зрения, так как такие подходы позволяют исключить эксперименты с участием животных, значительно снизить расходы на предварительные исследования и сократить сроки проведения доклинических испытаний.

Данные культуры клеток используются в вирусологии для диагностики инфекций, в иммунологии, иммунофармакологии, а также для фундаментальных и прикладных научных исследований в медицине и биологии. Коллекция постоянно пополняется и весьма востребована. Так, в рамках меморандумов о научном сотрудничестве лаборатории иммунологии и вирусологии взаимодействует с Витебским государственным ордена Дружбы народов медицинским университетом, ОАО «БелВитунифарм», ООО «ПРОМ-ТЕСТ»

(Ереван), Научно-практическим центром гигиены (Минск), БГУ, НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, Федеральным исследовательским центром вирусологии и микробиологии (Россия), РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова, ООО «PharmInterBio» (Узбекистан) в области клеточной биотехнологии и вирусологии.

Криобанк биомедицинских клеточных продуктов

В лаборатории молекулярной биологии и биотехнологии клеток и лаборатории иммунологии и вирусологии созданы коллекции биомедицинских клеточных продуктов (БМКП), состоящие из мезенхимальных стволовых клеток (МСК), полученных от различных тканевых источников (жировая ткань, обонятельная выстилка, костный мозг, плацента), аутологичных фибробластов дермы, лимбальных стволовых клеток и др. (рис. 2).

В лабораториях имеются изолированные помещения, оборудование для длительного хранения БМКП при сверхнизких температурах без потери функциональных свойств клеток, установки для их программируемого замораживания.

Усилиями Института зарегистрированы 7 наименований БМКП:

- клетки стволовые мезенхимальные, ТУ ВУ 100217351.004-2014 изм. №1;
- клетки мезенхимальные стволовые пулированные, ТУ ВУ 100217351.017-2022;
- клетки мезенхимальные стволовые, индуцированные к дифференцировке в

остеогенном направлении, ТУ ВУ 100217351.014-2022;

- клетки дендритные моноцитарные, ТУ ВУ 100217351.016-2022;
- фибробласты дермы человека, ТУ ВУ 100217351.008-2019 изм. №1;
- клетки эпителиальные стволовые лимба роговицы человека, ТУ ВУ 100217351.012-2020;
- эквивалент тканевой кожи человека, ТУ ВУ 100217351.011-2020.

В 2023–2024 гг. при выполнении мероприятий ГП «Инновационные биотехнологии» лабораториями были разработаны 11 инновационных для Беларуси БМКП:

- клетки мезенхимальные стволовые с улучшенными иммуносупрессивными и противовоспалительными свойствами;
- клетки стволовые мезенхимальные, способные к дифференцировке в эндометриально-децидуальном направлении;
- клетки стволовые мезенхимальные, обогащенные внеклеточными везикулами;
- Т-лимфоциты регуляторные;
- клетки дендритные толерогенные;

- клетки киллерные цитокин-индуцированные;
- аллогенные естественные киллерные клетки;
- клетки паращитовидной железы человека;
- клетки волосяного фолликула;
- клетки ретинального пигментного эпителия;
- аллогенные фибробласты кожи.

В сотрудничестве с научными медицинскими организациями, подчиненными Министерству здравоохранения Республики Беларусь, созданы методы лечения заболеваний с помощью данных клеточных продуктов.

По результатам проведенных работ выпущено иллюстрированное справочное пособие «Атлас биомедицинских клеточных продуктов и перевиваемых культур клеток» с их описанием, предназначенное для сотрудников научных организаций, учреждений здравоохранения, занимающихся клеточными био- и медицинскими технологиями, а также для студентов [3].

Многие из полученных БМКП используются в Отделении клеточной терапии, функционирующем в Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, для лечения пациентов с различными заболеваниями.

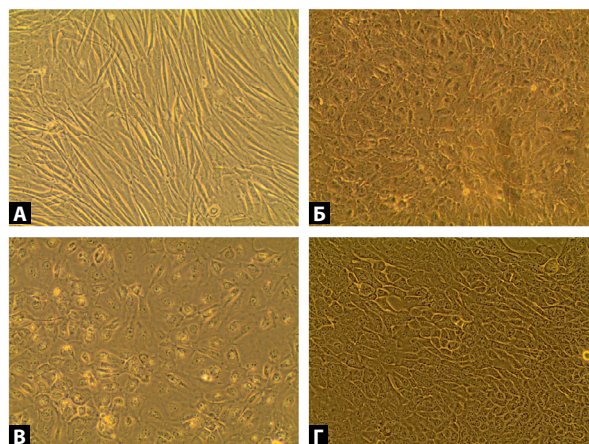


Рис. 2. Микрофотографии культур клеток человека: фибробластов кожи (А), ретинального пигментного эпителия сетчатки глаза (Б), паращитовидной железы (В), эпителиальных стволовых и прогениторных клеток лимба роговицы (Г). Фазово-контрастная микроскопия, 10 сут. культивирования, 3–5 пассаж, ув. × 100

Коллекция высших растений

Культуры клеток и тканей служат ценным источником биологически активных веществ (БАВ), что связано с их способностью продуцировать важные для медицины, парфюмерии и косметики соединения вторичного синтеза: алкалоиды, стероиды, гликозиды, гормоны, эфирные масла и др. Продуктивность культивируемых клеток в результате селекции может значительно превышать таковую у целых растений. Помимо биосинтеза важных соединений такие клетки способны к биотрансформации – превращению дешевых предшественников в ценный конечный продукт. Одними из самых распространенных вторичных метаболитов с антиоксидантными свойствами в тканях высших растений являются полифенолы. Полифенольные соединения можно получить в больших количествах при культивировании культур клеток и тканей, подвергая их воздействию различных химических и физических стимулов [4].

В современной научной практике наряду с традиционными широко внедряются методы исследований *in vitro*, основанные на концепции

трех R (reduction, refinement, replacement – снижение, уточнение, замена). Такие подходы позволяют значительно сократить расходы на создание современных биотехнологий, включающих производство биологически активных веществ и предварительные исследования новых перспективных химических препаратов, сократить сроки регистрационных испытаний [5].

Набор объектов растительного происхождения, которые можно перевести в культуру *in vitro*, достаточно широк. Как правило, большинство работ проводится с эксплантами разных органов, тканей и клеток семенных растений. Однако выращиваемые поверхностным способом на агаризованной питательной среде каллусные ткани и в жидкой питательной среде – суспензионные клеточные культуры требуют разных условий для роста в случае различных таксонов [6] (рис. 3).

На базе лаборатории прикладной биофизики и биохимии была сформирована коллекция культур клеток высших растений, включающая 40 образцов, из которых 35 – асептические каллусные ткани на твердых питательных средах, 5 – асептические суспензионные культуры клеток на жидких.

На все растительные объекты оформлены паспорта, разработаны лабораторные регламенты, а также создан атлас.

Коллекция водорослей и цианобактерий

Клетки цианобактерий и одноклеточных водорослей способны к синтезу самых разнообразных по своей природе веществ, многие из которых обладают доказанной фармакологической активностью, такой как противораковая, антиоксидантная и противовоспалительная [7]. Одни из самых ценных биологически активных соединений, производимых микроводорослями, – каротиноиды с высокой антиоксидантной активностью, в том числе фикоцианин, астаксантин, бета-каротин. Определенный интерес микроводоросли представляют также как источник омега-3 жирных кислот и полисахаридов. Некоторые роды, такие как *Nannochloropsis*, *Scenedesmus*, показали свою важность благодаря способности к биосинтезу длинноцепочечных жирных кислот (докозагексаеновой и эйкозапентаеновой) с противовоспалительными и иными ценными для человека свойствами [8].

Появляются данные, указывающие на потенциальную роль экстрактов спирулины и ряда других микроводорослей в снижении уровня холестерина, противовоспалительном и иммуномодулирующем действии [9]. Наиболее популярный в медицине способ применения спирулины – создание БАДов на основе экстрактов ее клеток и таблетированных форм сухой биомассы. Такие добавки могут способствовать восстановлению витаминной и минеральной недостаточности, выведению тяжелых металлов и радионуклидов, нормали-



Рис. 3. Фотография каллусной культуры клеток кориандра овощного (*Coriandrum sativum* L.) (А) и микрофотография суспензионной культуры клеток фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) сорта Анфиса (ув. $\times 10$) (Б)



Рис. 4. Общий вид коллекции микроводорослей на жидких и твердых средах

зации обмена веществ. Вытяжка хлорофилла спирулины используется как источник фотосенсибилизатора хлорина еб – активного вещества лекарственных препаратов (в том числе отечественного – «Фотолон® порошок» (Белмедпрепараты)) для фотодинамической терапии в онкологии и офтальмологии. В нашем институте с этой целью была разработана технология производства биомассы спирулины.

Коллекция водорослей Института биофизики и клеточной инженерии – единственная в стране, включающая живые альгологически чистые штаммы на жидких и плотных питательных средах – уникальный материал, не имеющий аналогов (рис. 4). Проводятся плановые пересевы культур, выращиваются маточные культуры.

Коллекция живых водорослей и цианобактерий, поддерживаемая

на базе лаборатории биофизики и биохимии растительной клетки, состоит из 40 штаммов, относящихся к 6 отделам (*Chlorophyta*, *Cyanophyta* (Cyanobacteria), *Euglenophyta*, *Chrysophyta*, *Rhodophyta*, *Xanthophyta*). Кроме того, она включает 2 вида водорослей, внесенных в Красную книгу флоры Республики Беларусь: *Cladophora aegagropila*, *Porphyridium purpureum*.

В настоящее время институт может производить в небольших объемах (до нескольких литров) маточные культуры (клеточные культуры высокой плотности и альгологической чистоты) спирулины, хлореллы и других микроводорослей. Они не предназначены для непосредственного использования в пищу или в медицине, но могут применяться потребителями для разведения культур микроводорослей в более крупных масштабах на больших

площадях в естественных водоемах или биореакторах.

Вышеизложенное дает основание считать, что Биотехнологическая коллекция культур клеток человека, животных, высших растений, водорослей и цианобактерий (с их перечнем можно ознакомиться на интернет-ресурсе <https://ibce.by/8182-2>) на базе Института биофизики и клеточной инженерии является уникальным научным объектом и может быть востребована как в исследовательской деятельности, так и в различных областях народного хозяйства, медицине и фармацевтике. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Parodi B. Interlab cell line collection: bioresource of established human and animal cell lines / B. Parodi [et al.] // <http://doi.org/10.5334/ojb.ah>.
2. Корень С.В. Коллекция культур клеток человека и животных РНПЦ эпидемиологии и микробиологии: нынешнее состояние и перспективы развития / С.В. Корень [и др.] // Современные проблемы инфекционной патологии человека: сб. науч. ст. – Минск, 2015. Вып. 8. С. 162–168.
3. Атлас биомедицинских клеточных продуктов и перевиваемых культур клеток: спр. пособие / А.Е. Гончаров [и др.]. – Минск, 2020.
4. Индукция синтеза полифенольных соединений в культуре тканей бобовых растений / Л.Ф. Кабашникова [и др.] // Материалы V Междунар. науч.-методол. конф. «Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции сельскохозяйственных растений», 15–19 апр. 2019 г. – М., 2019. С. 320–323.
5. Глик Б. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение / Б. Глик, Дж. Пастернак. – М., 2002.
6. Егорова Т.А. Основы биотехнологии: учеб. пособие / Т.А. Егорова, С.М. Клунова, Е.А. Живухина. – М., 2003.
7. Zhou T. A review on microalgae-mediated biotechnology for removing pharmaceutical contaminants in aqueous environments: Occurrence, fate, and removal mechanism / T. Zhou [et al.] // Journal of Hazardous Materials Advances. 2023. №443 (Pt A):130213. doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.130213.
8. Khozin-Goldberg I. LC-PUFA from photosynthetic microalgae: occurrence, biosynthesis, and prospects in biotechnology / I. Khozin-Goldberg, U. Iskandarov, Z. Cohen // Applied Microbiology and Biotechnology. 91 (4), 905–915. 10.1007/s00253-011-3441-x.
9. Vieira M.V. Microalgae Encapsulation Systems for Food / M.V. Vieira, L.M. Pastrana, P. Fuciños // Pharmaceutical and Cosmetics Applications. Marine Drugs. 2020. №18(12):644. <https://doi.org/10.3390/md18120644>.



Основным направлением научной деятельности Института биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси в 1970-х гг. стало всестороннее междисциплинарное изучение фундаментальных аспектов витаминологии и возможностей применения витаминов, их производных, а также антивитаминов в клинической практике с целью коррекции различных нарушений жизнедеятельности. Второй важный вектор — изучение биохимических аспектов действия алкоголя на организм и возможностей регулирования различных нарушений, вызванных злоупотреблением спиртных напитков.

БИОХИМИЯ И АЛКОГОЛИЗМ: НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ В ТЕРАПИИ



Елена Радута,
ученый секретарь
Института биохимии
биологически активных
соединений
НАН Беларуси



Олег Кузнецов,
директор Института
биохимии биологически
активных соединений
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук,
доцент

В 1990–2000-х гг. получили развитие исследования аминокислот, биохимических аспектов злокачественного роста, механизмов патогенеза заболеваний печени, сердечно-сосудистой, эндокринной систем, патологических состояний, связанных с воздействием стресса с целью разработки методов профилактики, диагностики и терапии заболеваний. Было начато лабораторное производство фармацевтических субстанций, инновационных терапевтических средств, витаминных препаратов, биологически активных добавок. За свою более чем 55-летнюю историю институт не только накопил огромный исследовательский опыт в данных областях, но и сформировал школу биохимии в Республике Беларусь.

Достижения, связанные с разработкой медико-биологических аспектов алкогольной зависимости, повлекли создание в 2015 г. Международного научного центра проблем алкоголизма (постановление Бюро Президиума НАН Беларуси от 08.09.2015 г. №375) на базе института. Центр выступает организатором исследований в области молекулярных механизмов развития и формирования алкогольной зависимости, разработки и внедрения новых технологий и терапевтических средств для возможного лечения пациентов с данным недугом. Установлены творческие связи с Европейским обществом по биомедицинским исследованиям алкоголизма (ESBRA), Европейским фондом алкогольных исследований (ERAB), ФБГУ «Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и наркологии имени В.П. Сербского», организациями Республики Польша, занимающимися проблемами алкоголизма (Институт химии и технологии питания Технологического университета г. Лодзь, кафедра биотехнологии Высшей медицинской школы г. Белостока) и другими специализированными организациями.

Накопленный опыт и достижения, эффективные средства метаболической коррекции последствий хронической интоксикации являются предметами обсуждения на традиционной Международной научно-практической конференции «Медико-биологические проблемы алкогольной и других химических зависимостей». Полученные в ходе выполнения заданий НИР и проектов результаты обусловили создание и дальнейший выпуск оригинальных отечественных высокоэффективных композиций на основе изучаемых субстанций.

Так, зарегистрирована полученная в институте биологически активная добавка «АНТИХМЕЛЬ», организовано ее производство на базе ОАО «ЭКЗОН».



Разработан экспериментальный образец композиции на основе растительных полифенолов (хлорогеновой кислоты (ХГК) и нарингина (НГ)) с кардио- и гепатопротекторными свойствами, применяемый при хронической алкогольной интоксикации. Установлено, что он оказывает эффективное корректирующее влияние на метаболический пул аминокислот в сердце и печени крыс, оптимизирует соотношение жирных кислот, восстанавливает скорость потребления кислорода, улучшает коэффициент дыхательного контроля, снижает очаговую клеточную инфильтрацию в тканях сердца, а также демонстрирует противовоспалительные и противofiброзные свойства. Результаты исследований представляют практический интерес, позволяя получить на основе экспериментального образца (ХГК+НГ) кардиопротекторное и гепатопротекторное лекарственное средство, защищающее сердце и печень при хроническом употреблении этанола.

Представлен метод контроля эффективности лечения синдрома зависимости от алкоголя с помощью маркера – фосфатидилэтанола. По результатам

исследований проведена оценка чувствительности и специфичности данного метода, Министерством здравоохранения Республики Беларусь утверждена инструкция по его применению (рег. №040-0624). Технология предназначена для врачей-психиатров, врачей-наркологов и врачей клинической лабораторной диагностики, оказывающих медицинскую помощь в стационарных, амбулаторных условиях и отделениях дневного пребывания пациентов с синдромом зависимости от алкоголя.

Показана фармакологическая активность новых N-производных цитизина как потенциальных лекарственных средств, обладающих антиаддиктивным действием, при алкогольной и никотиновой зависимости у экспериментальных животных. В опытах *in vivo* на крысах продемонстрировано, что некоторые N-производные цитизина оказывают антиаддиктивное действие при никотиновой зависимости, значительно более выраженное, чем у исходного цитизина. Одним из механизмов такого влияния веществ является способность нормализовать обмен нейроактивных соединений в отделах головного мозга крыс при формировании зависимостей. Дальнейшие исследования направлены на проведение возможной клинической оценки цитизина как препарата для снижения влечения к алкоголю у человека.

Открытие научно-производственного участка на базе института позволило заниматься разработками для реального сектора экономики. Активный научный поиск и фундаментальная база в области клинической фармакологии обусловили создание ряда инновационных средств.

Аэрозоль для наружного применения «РАНЛЕК-ПАНТЕНОЛ» (регистрационное удостоверение Министерства здравоохранения Республики Беларусь ИМ-7.116345) – средство для лечения ран и ожогов с обезболивающим, иммуностимулирующим и антисептическим эффектом, предназначенное для профилактики заражений и воспалений, ускорения заживления тканей при солнечных и термических ожогах легкой степени, поверхностных повреждениях кожи. Данная импортозамещающая продукция не имеет в своем составе дефицитных и экологически небезопасных компонентов, дешевле зарубежных аналогов, существенно расширяет ассортимент данной категории товаров.



На основе растительных экстрактов создан спрей CRINIS для наружного применения (декларация ЕАЭС №BY/112 11.01. TP009 122,01 15129, дата регистрации 12.09.2024), останавливающий выпадение волос, оказывающий стимулирующее действие на их рост у мужчин и женщин с андрогенной алопецией (облысение по мужскому типу), у женщин с диффузной телогеновой алопецией. Эффективен при сезонном и послеродовом выпадении волос. Разработка внедрена в производство.



Учеными института получен раствор для элиминации РНКаз, ДНКаз и деконтаминации ДНК «БИОС». Загрязнение особенно проблематично в высокочувствительной технике, используемой для выполнения молекулярно-биологических исследований, таких как полимеразная цепная реакция (ПЦР). Присутствие загрязняющих частиц ДНК и РНК в лабораториях молекулярной биологии, в особенности на рабочих станциях ПЦР, может привести к артефактам, ложноположительным и неточным результатам. Данное импортозамещающее средство произведено в Беларуси впервые. Его преимущества – эффективность и низкая стоимость, что существенно снижает затраты учреждений.



Институт активно работает и в направлении информационных технологий и нейронных систем (искусственный интеллект). Так, совместно с Отделением медицинских наук НАН Беларуси создан первый отечественный интерактивный калькулятор физического развития и питания ребенка грудного возраста (<https://ibiochemistry.by/kalkulyator>), позволяющий оценить физические параметры его развития с точностью до дня жизни, сформировать полноценную карту введения прикормов, осуществлять выбор продуктов (в том числе для детей первого года жизни, находящихся на искусственном и смешанном вскармливании) с учетом наличия возможных врожденных и приобретенных расстройств пищеварения при недостаточности грудного молока у кормящей матери. Данный инструмент ориентирован на продукты детского питания, производимые в Республике Беларусь. Калькулятор отличается от аналогов большим перечнем возможностей, может использоваться в практике врачами-педиатрами, неонатологами, гастроэнтерологами, аллергологами, нутрициологами), а также родителями.

Еще одна интересная разработка института – калькулятор биологического возраста. Для определения скорости старения организма достаточно ввести несколько параметров: рост, вес, окружность талии и бедер, а также хронологический возраст. Проанализировав данные, система выдает результат, отражающий, насколько организм соответствует нормам. Значительная разница между биологическим и хронологическим показателями может интерпретироваться как признак определенных проблем в организме, что означает повод пройти медицинское обследование. Причины выявленных отклонений разнообразны: наследственность, стрессы, вредная работа, ухудшение условий окружающей среды и пр. Разработка относится к области профилактической медицины и геронтологии.

В ближайшем будущем институт нацелен на достижение знаковых результатов в приоритетных областях научной, научно-технической и инновационной деятельности, а также получение технологий и разработок для различных отраслей экономики страны. ■

Инновационный потенциал и стандарты качества «АКАДЕМФАРМ»

Наукоемкое фармацевтическое предприятие «АКАДЕМФАРМ», созданное в структуре НАН Беларуси в 2009 г., обладает высоким научно-техническим и кадровым потенциалом, современной исследовательской и технологической базой, новейшим экспериментальным оборудованием от ведущих мировых производителей. Это позволяет осуществлять комплексные изыскания и выпускать продукцию в рамках коммерциализации разработок согласно Указу Президента Республики Беларусь от 04.02.2013 г. №59.

На базе предприятия образован Отдел научных исследований и разработок (ОНИР), который включает лабораторию технологии готовых лекарственных форм, лабораторию фармацевтических исследований, группу фармакологических исследований и группу микробиологических исследований. Работы по созданию пероральных форм новых фармацевтических изделий и их внедрение в производство ведутся с 2009 г. Первым средством, выпущенным в 2010 г. по заказу Министерства здравоохранения в связи с эпидемией вируса гриппа А(Н1N1), стал противовирусный препарат «Флустоп».

Ключевой особенностью выводимых на рынок республики новых наименований является импортозамещение. Специалистами «АКАДЕМФАРМ» разработано и коммерциализировано более 50 (с учетом дозировок) препаратов для лечения гастроэнте-



Ксения Назарова,
заместитель директора
по научной работе
ГП «АКАДЕМФАРМ»,
кандидат биологических
наук



Ольга Румянцева,
начальник
отдела маркетинга
ГП «АКАДЕМФАРМ»



Ольга Молчан,
главный специалист
по сопровождению НИР
ГП «АКАДЕМФАРМ»,
кандидат
биологических наук



Евгений Филатов,
начальник
отдела сбыта
ГП «АКАДЕМФАРМ»

рологических, кардиологических, вирусных, неврологических, урологических, ревматологических заболеваний, сахарного диабета, а также биологически активных добавок.

Проходят процедуру внедрения в промышленное производство лекарственные препараты Габапентин-НАН, Кальцитриол-НАН, ФлустопКИДС, биологически активные добавки Коэнзим Q10 с триглицеридами, Цинк хелат и др.

Экспортная деятельность предприятия направлена на продвижение отечественной фармацевтической продукции на внешние рынки и развитие международного научно-технического сотрудничества. В данном сегменте стратегия основывается на трех ключевых составляющих:

- соответствии международным стандартам качества: производственные процессы

сертифицированы согласно требованиям GMP (Good Manufacturing Practice), что обеспечивает признание продукции на зарубежных рынках и упрощает доступ к ним;

- инновационном потенциале: научно-исследовательская база позволяет создавать новые лекарственные формы и комбинированные препараты, отвечающие международным требованиям и удовлетворяющие потребностям региональных рынков;
- расширении международного партнерства с зарубежными дистрибьюторами.

Ассортимент «АКАДЕМФАРМ» представлен в Российской Федерации, Казахстане и Армении, ведется процесс регистрации препаратов в Туркменистане, Узбекистане, Азербайджане, Филиппинах и Вьетнаме,

что позволит в ближайшей перспективе расширить экспортную географию. В 2025 г. планируется первая поставка на Кубу, что станет важным шагом в укреплении присутствия белорусской фармацевтической продукции на рынке Латинской Америки и расширении глобальной экспортной сети в целом.

Научный коллектив предприятия имеет большой опыт создания и освоения в производстве новых лекарственных препаратов, в том числе в рамках выполнения заданий государственных программ («Медицина и фармация» 2013–2015 гг., «Химические технологии и материалы» 2016–2020 гг., «Импортозамещающая фармпродукция» 2010–2014 гг. и на период до 2020 г.), Государственной программы развития фармацевтической промышленности Республики Беларусь на 2016–2020 гг. В 2021–2025 гг. успешно осуществлялись фундаментальные и прикладные исследования по ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганоматериалы», ГНТП «Разработка фармацевтических субстанций, лекарственных средств и нормативно-правового обеспечения фармацевтической отрасли» и Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь. Созданы и освоены в производстве 17 новых препаратов (в том числе нестероидных противовоспалительных средств) для лечения болезни Альцгеймера, ВИЧ-инфекции, эпилепсии, подагры, тромбозов и венозной недостаточности, а также для профилактики тромбозов при остром коронарном синдроме.

В рамках выполнения поручения Главы государства, содержащегося в подпункте 1.7 протокола

поручений Президента Республики Беларусь от 09.04.2022 г. №3, в целях расширения научного потенциала, разработки новых препаратов и технологий на предприятии осуществляется экспортноориентированная кампания по созданию опытно-промышленного производства твердых лекарственных форм с применением передовых технологий (в том числе метода горячей экструзии), включенная в Государственную программу инновационного развития, и перечень «проектов будущего», реализуемых Академией наук.



Элемент дизайна упаковки препарата кардиологической линейки



Награда, полученная на выставке в Гаване

Важнейший проект «Комплексное развитие Государственного предприятия «АКАДЕМФАРМ» в соответствии с целями и задачами, предусмотренными Стратегией научно-технического и инновационного развития фармацевтической промышленности, предполагает организацию выпуска твердых лекарственных форм. В 2022 г. было начато строительство нового производственного корпуса, включающего Научно-практический центр имени доктора Ю.К. Хамида, который будет образован на базе научно-исследовательского отдела предприятия.

Также разрабатываются препараты вне рамок программ за счет собственных средств с использованием современных технологий, в том числе искусственного интеллекта. Так, ИИ был применен при реализации нового уникального дизайна упаковки препарата кардиологической линейки предприятия. Инновационный подход и высокое качество дизайнерского решения получили международное признание и обеспечили победу в конкурсе дизайна упаковочных средств на Международной выставке «Здоровье для всех – 2025» в Гаване.

Таким образом, «АКАДЕМФАРМ» как эффективно работающее предприятие нацелено на решение задач разработки и вывода на фармацевтический рынок Беларуси лекарственных средств различных фармакотерапевтических групп. Стратегия и принятые к реализации проекты способствуют развитию импортозамещающих производств, соответствующих требованиям стандартов GMP, расширению номенклатуры эффективных генерических препаратов, созданию современных инновационных лекарственных форм с улучшенными фармакокинетическими характеристиками. ■



Современные подходы к оценке эффективности управления инновационным развитием

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к оценке эффективности инновационного развития, необходимого для повышения конкурентоспособности предприятий, регионов и национальных экономик. Представлен обзор традиционных и новых методов оценки, включая экономические метрики (NPV, ROI, IRR), сбалансированную систему показателей (BSC), анализ границ эффективности (DEA), ESG-подход и индексные модели (GII, региональные индексы инновационного развития). Приведены примеры оценки инновационной деятельности в ведущих российских корпорациях и государственных системах мониторинга. Сделан акцент на переход от определения затрат к анализу системного воздействия инноваций, в том числе экологического, социального и институционального. Обоснована необходимость цифровизации мониторинга, гибридизации методик, учета отложенного и нематериального эффекта.

Ключевые слова: инновации, эффективность, оценка инновационного развития, инновационная активность, управление инновационным развитием, сбалансированная система показателей, DEA, ESG, цифровой мониторинг, промышленная трансформация, индекс инноваций.

Для цитирования: Дадалко В., Криворучко Н. Современные подходы к оценке эффективности управления инновационным развитием // Наука и инновации. 2025. №11. С. 25–30. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-11-25-30>



Василий Дадалко,
профессор кафедры прикладной экономики Высшей школы управления Российского университета дружбы народов (РУДН) им. Патриса Лумумбы, действительный член (академик) Академии военных наук Российской Федерации, доктор экономических наук, профессор; antikrizis1@bk.ru



Никита Криворучко,
аспирант кафедры прикладной экономики Высшей школы управления РУДН им. Патриса Лумумбы; ader.98@mail.ru

Понятие «инновационное развитие» (ИР) – междисциплинарное, охватывающее широкий спектр научных направлений: от экономической теории и менеджмента [1] до социологии, институционалистики и регионалистики. В классическом понимании оно восходит к работам Й. Шумпетера, который рассматривал инновации как основной источник экономического роста и предложил модель «созидательного разрушения»: внедрение новых технологий и идей вытесняет устаревшие формы производства [2]. В современном контексте под инновационным развитием понимается такой тип социально-экономической эволюции, при котором доминирующим фактором изменений становятся научные знания, технологические решения и административные нововведения.

Управление этим процессом – важнейшее направление деятельности как для отдельных предприятий, так и для целых государств.

ИР предполагает не просто расширение производственных мощностей или улучшение существующих алгоритмов, а принципиальное обновление экономической системы, ориентированное на рост интеллектуального капитала, трансформацию институтов, а также формирование новых моделей поведения на всех уровнях – от индивидуального до институционального. Оно отличается высокой степенью неопределенности, поскольку внедрение инноваций связано с рисками технологического, рыночного и организационного характера.

Согласно современным исследованиям (например, работам М. Портера, Э. Роджерса, Ф. Малоне), ИР включает в себя следующие ключевые характеристики:

- *долгосрочную направленность (в отличие от краткосрочной выгоды инновации зачастую требуют длительных периодов для достижения эффекта) [3];*
- *многослойность и межотраслевую интеграцию (современные инновации охватывают сразу несколько сфер: цифровые технологии, биотех, энергетику и пр.);*
- *зависимость от качества институтов (защита интеллектуальной собственности, доступ к финансированию, образовательная система и др.);*
- *непредсказуемость траекторий развития (невозможно точно спрогнозировать, какие из инноваций окажутся успешными);*
- *неравномерность распространения (инновации диффундируют неравномерно, что создает «инновационные разрывы» между регионами, отраслями и странами) [4].*

Эффективность ИР определяется не только объемом инвестиций в научные исследования или количеством патентов. Она формируется под воздействием совокупности факторов, которые можно условно разделить на 4 группы: институциональные, ресурсные, организационные и внешнеэкономические.

Институциональные включают наличие устойчивой и предсказуемой правовой среды, а также национальной стратегии инновационного развития; уровень защиты интеллектуальной собственности; прозрачность регулирующих процедур;

стимулирующие механизмы (налоговые льготы, гранты, субсидии) [5].

Так, в странах с высокоразвитой инновационной системой (например, в Южной Корее, Германии, Финляндии) институциональные рамки создают благоприятную почву для долгосрочных научных инвестиций и устойчивого технологического предпринимательства.

К ресурсным факторам относятся объем финансирования НИОКР и инновационных программ; кадровый потенциал в области STEM-направлений; наличие научно-исследовательских институтов, технопарков, инкубаторов, цифровой и инженерной инфраструктуры.

Недостаточность кадрового обеспечения, отток квалифицированных специалистов, слабая кооперация между университетами и бизнесом – все это существенно снижает отдачу от инновационных инвестиций.

Организационные факторы определяются внутренними особенностями предприятий: типом корпоративной культуры (иерархическая, проектная, предпринимательская); наличием механизмов внутренней мотивации персонала к инновационной деятельности; гибкостью организационной структуры и ее способностью к изменению; опытом и компетенцией руководства в области управления знаниями [6].

Организации, внедряющие модели «открытых инноваций», а также активно сотрудничающие с внешними партнерами, как правило, достигают более высоких результатов.

Внешнеэкономические факторы – это доступ к международным рынкам, участие в глобальных цепочках добавленной стоимости, международные партнерства и приток прямых иностранных инвестиций в высокотехнологичный сектор.

В совокупности все вышеперечисленное формирует так называемую инновационную среду, в которой протекают процессы генерации, разработки и коммерциализации новых знаний. Анализ эффективности ИР невозможен без учета степени зрелости этой среды и ее институционального качества.

На протяжении десятилетий в научной и практической плоскости преобладали методы оценки инновационной деятельности, основанные на традиционных финансово-экономических индикаторах (наиболее распространенные отражены в табл. 1), ориентированных на измерение результатов в денежной форме, что логично вписывается в логику рыночной эффективности.

Применение таких показателей имеет очевидные преимущества: простота расчетов, универсальность, возможность сопоставления между предприятиями. Однако в современных условиях данный подход все чаще подвергается критике из-за ограниченной способности отразить реальные эффекты инноваций, которые часто дают отложенный результат (а классические показатели не учитывают латентные достижения, такие как формирование нового знания, рост компетенций персонала, развитие технологического задела) и в большинстве своем нематериальны (например, цифровые платформы, алгоритмы ИИ), из-за чего их оценка в рамках бухгалтерского учета затруднена. Кроме того, традиционными методами невозможно адекватно определить внешние эффекты – экологические, социальные, институциональные.

Метрика	Функции
Прирост выручки от новых продуктов и технологий	Демонстрирует прямое коммерческое влияние инновации
Коэффициенты отдачи на инвестиции (ROI, NPV, IRR)	Позволяют рассчитать прибыльность и привлекательность инновационного проекта
Срок окупаемости (Payback Period)	Отражает период, за который инвестиции возвращаются за счет полученной выгоды
Доля доходов от новых продуктов в общей структуре продаж	Показывает степень зависимости бизнеса от инновационных решений
Интенсивность НИОКР (R&D Intensity)	Отражает соотношение затрат на научные исследования к общим доходам компании
Патентная активность	Демонстрирует количество поданных и зарегистрированных патентов, свидетельствующих о результатах НИОКР

Таблица 1. Метрики измерения результатов инновационной активности в денежной форме
Источник: разработка авторов

Направление	Область исследования
Финансы	ROI, рост прибыли, доля новых продуктов
Клиенты	Удовлетворенность, лояльность, проникновение инновационных решений
Внутренние процессы	Эффективность инновационного цикла, скорость вывода продукта на рынок
Обучение и рост	Кадровый потенциал, инновационная культура, развитие компетенций

Таблица 2. Сбалансированная система показателей (BSC)
Источник: составлена авторами

Требуются комплексные и гибкие методы, которые способны учитывать не только финансовые аспекты, но и стратегическое развитие, инновационную культуру, устойчивость и социальную значимость.

Рассмотрим ключевые современные подходы.

Предложенная Р. Капланом и Д. Нортонем концепция Balanced Scorecard (BSC) представляет собой стратегический инструмент, позволяющий отслеживать эффективность деятельности организации по 4 взаимосвязанным направлениям [7] (табл. 2).

Ее преимущество в том, что она дает возможность выстроить «дерево целей», связывая инновации с корпоративной стратегией и мотивацией персонала. Однако ее реализация требует значительных управленческих ресурсов и глубокого понимания связей между показателями.

Метод Data Envelopment Analysis (DEA) применяется для оценки относительной эффективности объектов (предприятий, подразделений) с использованием множественных входов (ресурсы, инвестиции) и выходов (результаты, продукция, доход). Он позволяет определить, какие предприятия работают на «фронтире эффективности», а какие – с отставанием. DEA особенно полезен в случаях, когда отсутствует единая шкала оценки; требуется учет нескольких параметров одновременно; оцениваются нематериальные результаты инноваций. Он активно задействован в развитых странах при оценке эффективности научных учреждений, стартапов, венчурных фондов и даже национальных инновационных систем [8].

В последние годы все большее распространение получает ESG-подход (Environmental, Social, Governance), фокусирующийся на устойчивом развитии. Инновации в данном контексте оцениваются не только по финансовой выгоде, но и по следующим направлениям: экологический эффект (E): снижение выбросов, ресурсоэффективность, переход к замкнутым циклам; социальный эффект (S): влияние на занятость, качество жизни, инклюзивность; управление (G): прозрачность, цифровизация процессов, антикоррупционная устойчивость. Для инновационных проектов данный подход позволяет выйти за пределы традиционных показателей и учитывать общественную и экологическую значимость.

Современная практика также включает:

- **технологический аудит** – экспертную диагностику инновационного потенциала, технологического задела и уязвимостей;
- **методику оценки жизненного цикла инновации (Life Cycle Assessment)** – особенно востребованную в энергетике и экологии;
- **Big Data & AI-оценка** – анализ больших данных и применение ИИ для прогнозирования эффективности инноваций.

Среди наиболее известных индексов можно назвать:

- *Глобальный индекс инноваций (GII)* – рейтинг стран по уровню инновационного развития (по версии ВЭФ и INSEAD);
- *Индекс инновационного развития регионов РФ (НИУ ВШЭ)* – агрегирует данные по 40 показателям (кадры, НИОКР, инфраструктура, коммерциализация);
- *Индекс технологической готовности предприятий (ГК «Росатом», РАНХиГС)* – применяется для оценки цифровой зрелости.

Несмотря на широкий арсенал существующих методик, практика показывает наличие системных проблем, ограничивающих точность и применимость оценки инновационной активности.

Методологическая фрагментарность. Большинство методик разработаны либо для отдельного уровня (например, предприятия), либо для специфических задач (инвестиционные проекты, госпрограммы) и не адаптированы к комплексной оценке системы. Отсутствует универсальный подход, применимый в масштабах отраслей или регионов.

Недостаточная учетность нематериальных результатов. Современные инновации, особенно цифровые, создают интеллектуальные активы, не отражающиеся напрямую в балансовой отчетности. Это приводит к недооценке реального эффекта инноваций.

Латентный (отложенный) характер эффекта. Многие инновации проявляют эффект через 3–7 лет. При этом традиционные финансовые показатели работают на коротком горизонте, создавая искажения в оценке перспективных, но еще не окупаемых решений.

Ограниченность доступных данных. Особенно это актуально для российских реалий, где данные о НИОКР часто закрыты или неполны; статистика по инновациям агрегирована и отстает на 1–2 года; патентная активность не всегда отражает качество нововведений.

Проблемы сопоставимости. Международные сравнения затруднены из-за разных методик расчета показателей, различных стадий развития институтов и отраслевой специфики.

Оценка субъективных и поведенческих факторов. Инновации зависят от предпринимательского климата, культуры ошибок, готовности к экспериментам – что крайне сложно поддается формализованной оценке.

Игнорирование влияния внешней среды. Кризисы, санкции, эпидемии, технологические блоки-

ровки – все это резко влияет на эффективность инноваций, но редко учитывается в стандартных системах оценки.

Индустриальные предприятия особенно страдают от системных проблем существующих методик, так как выступают не только основными потребителями инноваций, но и активными их генераторами. Именно в промышленности проявляется острая потребность в системной оценке ИР – на уровне и отдельных проектов, и всей инновационной стратегии. Однако в реальной практике наблюдается широкий разброс в подходах.

В российских промышленных корпорациях наибольшее распространение получили прикладные методы оценки, ориентированные на измерение прямой экономической отдачи от НИОКР: прирост производительности труда, снижение издержек, рост выручки от реализации новых продуктов и услуг, экономия ресурсов за счет оптимизации производственного процесса. Примером может служить «Металлоинвест» с его системой технологического мониторинга: каждый внедренный инновационный проект проходит постоценку через 12 мес. после внедрения по экономическим, технологическим и экологическим критериям. При этом акцент делается не только на прямую прибыль, но и на снижение воздействия на окружающую среду.

Другой пример – ПАО «Сибур Холдинг», где применяется инновационный рейтинг подразделений, включающий как финансовые, так и поведенческие индикаторы: количество внедренных инициатив, участие сотрудников в проектах, скорость реализации пилотов, коэффициент внедрения.

Также стоит отметить опыт Госкорпорации «Росатом», где реализована система цифровой оценки зрелости инновационного портфеля. С помощью единой платформы отслеживаются стадии жизненного цикла инноваций, уровень коммерциализации и потенциальный мультипликативный эффект.

На международной арене практики еще более разнообразны. Так, в компании Siemens используются гибридные модели: для каждого инновационного кластера формируется своя модель оценки, основанная на стратегических целях. В корпорации 3М применяется политика «15% времени на инновации», а эффективность измеряется не только через прибыль, но и через устойчивость инновационной культуры.

Тем не менее даже в ведущих корпорациях наблюдаются сложности с системной оценкой: затруднен учет кумулятивного эффекта инноваций; не всегда возможно отследить вклад отдельных инициатив

в стратегические KPI; не формализованы показатели «провалившихся» начинаний, которые при этом могли дать ценные уроки.

Поэтому наиболее продвинутые компании постепенно переходят к портфельному управлению инновациями, где анализ их эффективности проводится не по отдельным проектам, а по совокупному влиянию портфеля на конкурентные позиции компании.

На макроуровне оценка ИР носит не менее важный характер. Она служит основой для корректировки государственной инновационной политики, распределения бюджетных средств, создания программ поддержки и выявления успешных практик.

На международной арене один из наиболее авторитетных источников оценки ИР – Глобальный индекс инноваций (GII). Он охватывает более 130 стран и учитывает как ресурсы, так и результаты инновационной деятельности [9]. В табл. 3 приведены показатели стран – лидеров GII 2024 г.

Место	Страна	Балл GII (0-100)	Доля расходов на НИОКР в ВВП, %	Кол-во патентов на 1 млн жителей
1	Швейцария	67,2	3,4	1 058
2	Швеция	64,9	3,5	984
3	США	63,7	3,5	923
4	Сингапур	62,5	2,2	891
5	Республика Корея	62,1	4,8	1 215
6	Германия	61,3	3,2	865
7	Финляндия	60,7	2,9	802
8	Дания	60,5	2,8	755
9	Китай	60,3	2,4	732
10	Великобритания	59,8	1,9	654

Таблица 3. Показатели инновационной активности по странам

Источник: Global Innovation Index (GII) 2024 от Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO)



Рисунок. Индекс инновационного развития регионов РФ, 2024 г.
Источник: НИУ ВШЭ

В России оценка ИР находится в компетенции Министерства экономического развития РФ (разрабатывает методики мониторинга инновационной активности регионов), Росстата (ежегодно собирает официальную статистику по инновационной активности предприятий), НИУ ВШЭ (Институт статистических исследований и экономики знаний). Последний формирует Индекс инновационного развития регионов РФ [10], включающий 4 блока: социально-экономические условия, научно-технологический потенциал, инновационную деятельность, эффективность. Согласно ему, в 2024 г. в лидерах находились Москва, Санкт-Петербург, Татарстан, Нижегородская и Томская обл. [11] (рисунок).

Однако большинство регионов показывают низкий уровень инновационной активности, особенно в ДФО, СКФО и сельскохозяйственных субъектах.

Проблемы государственной оценки в России включают избыточную бюрократизацию отчетности, низкую актуальность статистики (с отставанием 1–2 года), отсутствие учета качества и эффектов инноваций – внимание сосредоточено на «вводных» показателях (количество НИОКР, поданных заявок и т.д.).

Для сравнения, в странах ОЭСР применяются более гибкие подходы. В Германии действует система «Innovation Indicators», где кроме традиционных показателей оцениваются институциональные факторы и культура предпринимательства. Финляндия использует панельную оценку, включающую мнения экспертов, индикаторы «готовности к инновациям», цифровую зрелость и устойчивость к кризисам [12]. В США большое внимание уделяется региональным инновационным экосистемам, кластерной активности и кооперации между бизнесом и университетами.

На региональном уровне в России наблюдается растущий интерес к цифровым панелям мониторинга. Так, в Республике Татарстан внедрен Индекс цифровой трансформации, который интегрирован с данными по инновациям. Москва тестирует систему оценки инновационного климата на базе интегрального индекса конкурентоспособности отраслей.

Кроме того, роль регионов возрастает в рамках национального проекта «Наука и университеты», где предусмотрена самостоятельная разработка и реализация региональных программ НИОКР и инноваций, сопровождающихся KPI, привязанными к итогам внедрения.

Таким образом, государственная система оценки находится в процессе перехода от формальной

статистики к данным, основанным на результатах, эффектах и устойчивости.

Анализ практик предприятий, регионов и стран позволяет выделить ключевые направления, в которых должна совершенствоваться система оценки эффективности инновационного развития.

Переход от оценки процессов к оценке результатов. Традиционно в центре внимания находятся вводные и промежуточные показатели: количество НИОКР, сотрудников, патентов. Однако важно определять воздействие (impact): изменение конкурентных позиций, устойчивость к внешним шокам, рост качества жизни.

Интеграция количественных и качественных данных. Необходимо сочетание статистики с экспертной оценкой, социологическими опросами, кейс-аналитикой. Применение гибридных методик позволит учитывать социальный капитал, предпринимательскую активность, инновационную репутацию компаний и регионов.

Использование цифровых платформ мониторинга. Цифровизация позволяет автоматизировать сбор и обработку данных, визуализировать результаты и формировать прогнозные модели. Ведущие страны уже внедряют цифровые панели мониторинга, интегрированные с государственными и корпоративными системами [13].

Привязка оценки к системе управления и мотивации. Она должна быть встроена в систему стратегического управления, влиять на ресурсное распределение, поддержку проектов, мотивацию команд. Без обратной связи она превращается в формальность.

Учет ESG и устойчивого развития. При оценке необходимо учитывать экологические, социальные и управленческие эффекты. Устойчивые инновации должны получать приоритет при финансировании, льготах и продвижении.

Локализация методик под отрасли и регионы. Невозможно применять одну универсальную систему. Требуются отраслевые модели оценки, адаптированные под специфику высокотехнологичных производств, сельского хозяйства, энергетики, цифровых платформ и т.д.

Международная сопоставимость и соответствие глобальным трендам. Российская система оценки должна быть сопоставима с международными индексами (GII, OECD Science & Technology Indicators), чтобы формировать объективное представление о месте страны в глобальной инновационной системе [14].

Таким образом, практика оценки инновационного развития находится в фазе модернизации. На передний план выходит необходимость создания адаптивных, цифровых, мультикритериальных инструментов, способных оценивать не только доходность, но и трансформационный, институциональный и социальный эффект инноваций. ■

■ **Summary.** The article examines modern approaches to evaluating the effectiveness of innovation development as a key factor in increasing competitiveness across enterprises, regions, and national economies. It reviews both traditional and contemporary assessment methods, including financial metrics (NPV, ROI, IRR), the Balanced Scorecard (BSC), Data Envelopment Analysis (DEA), ESG criteria, and index models (GII, regional innovation indices). The paper analyzes case studies from major Russian industrial companies (Rosatom, SIBUR, Metalloinvest) and national evaluation systems. Emphasis is placed on the shift from cost-based analysis to systemic impact assessment, including environmental, social, and institutional dimensions. The need for digital transformation of monitoring, hybrid methodologies, and consideration of delayed and intangible effects is substantiated. The article proposes directions for improving current evaluation frameworks based on best international practices and the specifics of the Russian innovation ecosystem.

■ **Keywords:** innovation, effectiveness, innovation development, management of innovation development, evaluation methods, Balanced Scorecard, DEA, ESG, digital monitoring, industrial transformation, innovation index.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-11-25-30>

Статья поступила в редакцию
14.08.2025 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гражданская И.П., Бугакова И.В. Инновационный менеджмент: учебник. – М., 2021.
2. Шумпетер Й. Теория экономического развития. – М., 1982.
3. Малоне Т. Будущее работы: как будут устроены компании завтрашнего дня. – М., 2019.
4. Портер М. Конкуренция. – М., 2000.
5. Кузнецова Н.В., Павлов А.В. Цифровая трансформация инновационной экономики. – СПб., 2023.
6. Савицкая Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. – М., 2022.
7. Каплан Р., Нортон Д. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. – М., 2004.
8. Кулакова Н.А. Оценка эффективности инновационной деятельности предприятий. – М., 2020.
9. Глобальный индекс инноваций 2023 / WIPO // https://www.wipo.int/global_innovation_index.
10. Минэкономразвития РФ. Методика оценки эффективности инновационного развития регионов. – М., 2022.
11. Индекс инновационного развития субъектов РФ / НИУ ВШЭ. – М., 2024.
12. Бауманн А., Штейн Х. Инновационные индикаторы: Новая повестка дня для Европы. – Берлин, 2021.
13. Давыдов С.В. Цифровые панели мониторинга в управлении инновациями // Менеджмент инноваций. 2023. №3. С. 45–59.
14. OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023. – Paris, 2023.

В современном мире наука играет решающую роль. Все крупнейшие достижения в разных сферах человеческой деятельности стали возможными благодаря опережающим разработкам как непосредственно ученых, так и с их участием. В новейший период это и космические исследования, и беспилотные и умные системы, и искусственный интеллект, и прорывы в микроэлектронике, и впечатляющие результаты в медицине и фармации, и обеспечение продовольственной безопасности и др. Причем многие научные достижения не только поражают (композиции с генами, клетками, электронами и т.п.), но и трансформируют бывшие фантазии в реальную жизнь. Новейшая наука приобрела небывалый ранее динамизм и масштаб. Стала одновременно широко доступной и массовой – и в то же время более эксклюзивной и конфиденциальной, если не сказать закрытой. Особенно это касается опережающих и прорывных исследований, и не только в военных сферах или областях двойного назначения, но и в мирных и гражданских целях. Просто обострились задачи конкурентоспособности и лидерства. Поэтому даже патентование каких-то пионерных разработок происходит в мире с большой осторожностью.

Наука в Беларуси:

ВОЗМОЖНОСТИ

и результаты развития



Владимир Гусаков,
академик, профессор

Рассматривая в данном контексте развитие белорусской науки, приходится признать, что она также за последнее время по ряду позиций вышла на передовые показатели и работает в тренде мировых достижений. А по отдельным проблемам и направлениям – с заметным опережением. То есть ряд разработок белорусских ученых не имеют аналогов в мире и являются лидирующими (РНК-вакцины, плазмиды, достижения в области онкологии, разработки фармпрепаратов для спецназначения, создание новейших микробиологических субстанций, выведение сортов сельскохозяйственных культур с непревзойденными характеристиками и др.). Все это стало возможным благодаря оптимальному регулированию, рациональному распределению ресурсов и их безошибочной концентрации, подготовке кадров и ставке на таланты, свободе научного поиска. И это в целом при скромных материальных ресурсах. Конечно, хотелось бы, чтобы таких прорывов и результатов в белорусской науке было больше, но научный процесс имеет свои специфические особенности, и здесь без создания сильных научных школ, без накопления знаний и квалификации (в науке известна роль кумулятивного фактора), без лидеров-генераторов и даже без научного предвидения и озарения (своего рода интуиции), без достаточной приборной и материальной базы вряд ли что-то возможно. Не говоря уже о том, что мотивация и условия научного труда и жизни ученых также имеют не последнее значение. В сумме это комплекс факторов, и создать их в одночасье невозможно. Но даже если они и присутствуют, то не факт, что тут же будут давать опережающую отдачу. Нужны не только ресурсы, но и время, а главное – готовность и зрелость умственных, профессиональных и квалификационных способностей ученых. Не случайно в мире развернулась охота за талантами и умами, и эта охота постоянно обостряется.

Для развертывания фундаментального научного процесса определяющее значение имеют опыт, многолетняя практика и знание как мировых достижений, так и глубинных процессов в самой науке и конкретно в исследуемой сфере. Внешне это незаметно, но каждый ученый это чувствует интуитивно «на своей шкуре».

Говоря о развитии и результатах белорусской науки в целом, надо сказать, что они являются далеко не равнозначными в разных сферах и отраслях. Наиболее устойчивое развитие за последние годы с соответствующими бесспорными достижениями в разных областях приобрела Национальная академия наук Беларуси, хотя, как известно, Академия в силу своей исторической специализации не может представлять всю науку страны, а только те области, где имеются научные школы и наработаны необходимые компетенции. Также хорошими темпами движется наука сферы промышленности, в соответствии с чем имеются очевидные достижения в освоении инноваций по целому ряду технических направлений (машиностроение, приборостроение, станкостроение, инструменты и др.). Достаточно результативно работает наука сферы здравоохранения, где освоены многие мировые достижения.

Вместе с тем в отдельных странах наука находится на стадии либо стагнации, либо очевидного упадка. А в ряде наших министерств и ведомств представляет собой или фрагменты без необходимой целостности, или остатки от некогда имеющегося хорошего потенциала. Сокращается число занятых, уменьшается количество ученых со степенями, падают объемы инвестиций в науку, исчезают яркие и конкурентоспособные разработки. Причин этому много. Но главной является многолетнее недофинансирование фундаментальных и прикладных исследований, которое приобрело уже хронический характер. Так, в целом на науку страны из государственного бюджета в последние годы направляется только 0,2–0,25% валового внутреннего продукта, а за счет всех источников финансирование (инвестирование) составляет около 0,6% ВВП страны, включая средства, заработанные и самими учеными. Естественно, этого не хватает даже для простого поддержания и воспроизводства научного потенциала, не говоря уже о необходимости его расширенного воспроизводства.

Однако, несмотря на серьезную недостаточность бюджетного финансирования, Академия наук научилась рационально распределять эти ресурсы и направлять их на реальные приоритеты по программно-целевому принципу, но главное – зарабатывать разными методами недостающие средства. Например, это и создание собственных инновационных производств, и реализация готовой наукоемкой востребованной продукции, и договорные взаимодействия с предприятиями и отраслями, и контракты с зарубежными партнерами, и гранты, и многое другое. В сумме все это позволяет компен-

сировать дефицит инвестиций и обеспечить положительную динамику.

За последние годы Академия наук выстроена как крупный научно-исследовательский и инновационный центр, работающий в тренде мирового развития, имеющий достаточную критическую массу наукоемких результатов, позволяющую ей доминировать в стране и высоко оцениваться зарубежными партнерами. Академия оптимизирована по всем статьям: количество, содержание и наполнение программ научных исследований; численность научных организаций, их составы и руководство; система фундаментальных и прикладных исследований; развитие самой науки и взаимодействие с предприятиями и отраслями; внутренняя нацеленность на устойчивое развитие и экспортная ориентация разработок и т.п. Все это в совокупности дало возможность достичь определенных успехов. Для подтверждения сказанного можно привести следующие факты: создание в стране космической отрасли и обеспечение данной информацией запросов многих министерств и ведомств (спутники дистанционного зондирования Земли); научное обеспечение строительства с последующей эксплуатацией атомной станции (позволило качественно выполнить весь комплекс в строгом соответствии с регламентами и нормативами); открытие белорусской полярной станции в Антарктиде; разработка серии беспилотных летательных аппаратов, соответствующих заданным критериям конкурентоспособности и безопасности; создание ряда образцов легкового электротранспорта исходя из параметров инновационности (собственная компонентная база и последовательная локализация); освоение новейших программных средств в разных сферах применения; обеспечение широкого спектра технологий искусственного интеллекта и цифровизации (Академия здесь является лидером в стране); научное сопровождение всей электронной торговли; создание высококонкурентной лазерной и оптической техники (особенно для микроэлектроники); ускоренное развитие микроэлектроники (с освоением перехода от кремниевой на галлиевую); разработка серии лучших электронных датчиков для разных отраслей промышленности, пионерных натриево-графеновых аккумуляторов и накопителей электроэнергии (взамен литий-ионных), новейших магнитотвердых и магнитомягких материалов, технологий азотирования и цементирования инструментов и деталей для повышения их износостойчивости, уникальных химико-биологических препаратов и лекарственных средств для оздоровления, поддержания иммунитета и лечения особо сложных

заболеваний человека; большой серии высокоценных микробиологических препаратов и средств для животноводства, растениеводства и медицины; многих сортов сельскохозяйственных растений, машин и технологий с уникальными свойствами и характеристиками конкурентоспособности; освоение многих новых видов пластиков и пластмасс; издание широкого перечня актуальных научных разработок в области культуры, языка, литературы, истории, социологии, философии и экономики. И это, конечно, далеко не все. Данный перечень может иметь бесконечное (в нормальном смысле этого слова) продолжение. Каждый из новейших и прорывных результатов дополнительно включает еще многие ноу-хау. В частности, предложены следующие уникальные технологии:

- *утилизации литий-ионных батарей с воспроизводством не только солей металлов, но и самих исходных материалов;*
- *получения сверхтвердых сталей для инновационного машиностроения;*
- *создания искусственных нейронов для умных систем в разных сферах использования;*
- *создания генных конструкций и аппаратов для селекции растений и животных и многое другое.*

А сколько всего восстановлено, воссоздано и возвращено к жизни?! И это не только объекты сферы науки – институты, объединения, разные неформальные структуры, но и социальная инфраструктура – детские сады, пионерский лагерь, санаторий и прочее, и инновационно-производственная. Не случайно поэтому в последние годы Академия наук стала справедливо называться научно-производственной корпорацией (своего рода научно-инновационным объединением), чему есть реальное подтверждение: достаточно внимательно посмотреть хотя бы на организационную схему образования и функционирования и динамику развития за последние годы.

Разработками и достижениями Академии наук во всех областях сейчас можно и следует по праву гордиться. При скромных ресурсах она имеет результаты мирового уровня и устойчивые финансово-экономические показатели: самый крупный оборот финансовых средств, самая большая стоимость наличных материальных ресурсов, самые большие продажи и экспорт готовой наукоемкой продукции, самое серьезное обновление основных фондов и приобретение новейших приборов и оборудования, самый существенный рост заработной платы (а значит, и мотивации труда) и пр. Не снижены объемы статистических, контролируемых и индикативных

показателей. Главная задача сегодня – обеспечить устойчивое развитие на будущее.

В данном контексте Академия наук приобрела совершенно новую организацию. Наряду с оптимизацией институтов созданы кластеры, центры, объединения и отраслевые лаборатории по самым актуальным направлениям научной деятельности, призванным не только поставить науку в Беларуси на равную ступень с лучшими зарубежными достижениями, но и превзойти их. В этом плане наиболее результативно работают отраслевые лаборатории, совместные лаборатории и центры с зарубежными партнерами, в том числе поисковые структуры и подразделения, созданные для компенсации пробелов в отечественной науке, такие как Центр мозга, Центр геномных технологий, Центр клеточных технологий, Центр аллергологии и др. Создан даже Центр исследований и разработок в области орфанных заболеваний – редких и опасных недугов, лечение которых сейчас проводится исключительно за рубежом.

Именно совокупность результатов и достижений в разных областях стала той базой и платформой, которая создает Национальной академии наук Беларуси заслуженный авторитет как в стране, так и за рубежом. К нашей Академии тянутся, здесь проводится масса разных публичных мероприятий. Ей направляется большое число поручений органов государственного управления с уверенностью, что все будет исполнено достойно. Ежегодно в Академию приезжает немалое число зарубежных делегаций. Проводятся многочисленные конференции, семинары, симпозиумы, конгрессы, заключаются договоры о сотрудничестве с академиями и научными центрами многих стран, укрепляется международный авторитет.

Безусловно, нельзя однозначно утверждать, что в Академии наук сделано и делается все, есть нерешенные задачи, поскольку реализация любой из них тут же ставит перед учеными новые вопросы. Скажем, достижение определенной наноразмерности в изготовлении микросхем или лазеров влечет за собой необходимость создания еще меньшей размерности; разработка новейшей технологии применения умных систем для различных отраслей требует приближения их функций к возможностям человеческого мозга; создание высококонкурентных сортов сельскохозяйственных растений, не уступающих зарубежным аналогам, указывает на необходимость совершенствования их характеристик и т.п.

Таким образом, Национальная академия наук Беларуси – это многоцелевая и многофункциональная

система, где тесно переплетены не только научные цели и задачи в разных сферах исходя из потребностей отраслей, но и государственные функции и обязанности, а также социальные задачи и, конечно, собственно академические потребности. Академия – система целостная, сложившаяся исторически, и вырвать какие-то элементы из ее состава невозможно без ухудшения общего состояния.

Ее устойчивое и эффективное развитие требует соблюдения ряда специфических условий:

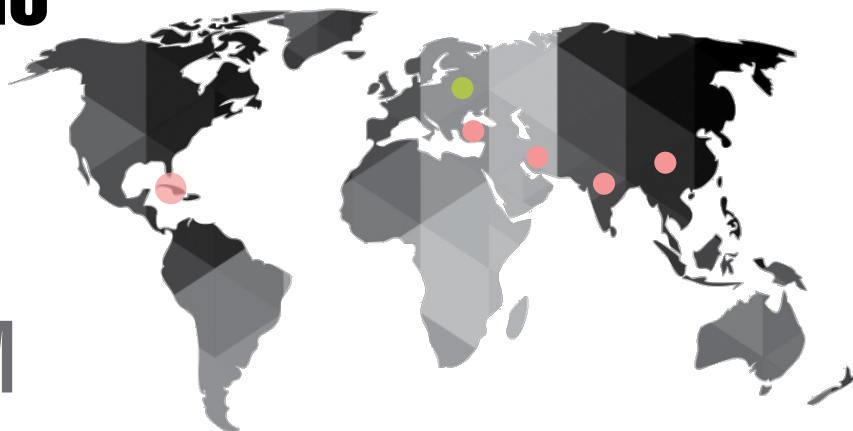
- *первичности финансирования (инвестирования) и вторичности научных результатов, а не наоборот, как того требуют некоторые заказчики научных разработок. Так, для организации научного процесса в большинстве случаев необходима закупка исходного сырья, расходных материалов, выплата авансов и заработной платы и т.п.;*
- *свободы научного поиска в соотношении со спецификой организации научного процесса. Нельзя избыточно регламентировать ход научных исследований, в противном случае можно получить обратный эффект;*
- *права на ошибку, особенно когда тематика является принципиально новой, а процесс исследований – неизведанным. Если такое право отсутствует, то трудно рассчитывать, что ученые будут стремиться заниматься сложной и непредсказуемой тематикой;*
- *права на отрицательный результат. Известно, что в ходе сложного исследовательского процесса результат не может быть гарантирован, например, если тематика отличается абсолютной новизной. Да, действительно, каждый разработчик должен стремиться к положительному исходу, но в науке можно предполагать одно, а получить другое. Поэтому даже отрицательный результат в мире признается положительным;*
- *стимулирования научного труда как первейшего принципа поддержания статусности труда ученых. Без действительного стимулирования трудно рассчитывать на высокую заинтересованность ученых в получении искомых результатов;*
- *мотивации научной деятельности. Известно, что это внутреннее убеждение ученых – работать ответственно, продуктивно и результативно. Без такой внутренней мотивации на творческий поиск конечный итог может быть сомнительным;*

- *общественного признания заслуг ученого (в виде разного рода оценок, почестей и наград), способного придать дополнительный импульс творчеству. Ученый не будет считать себя обделенным и забытым;*
- *избежания ненужного стороннего контроля за деятельностью ученых, поскольку каждый из них по природе достаточно ответственный человек (иначе он не стал бы ученым) и стремится работать на принципах самоорганизации и самоответственности; внешний контроль может вносить лишь диссонанс в научный и исследовательский процесс. Важно также учитывать то обстоятельство, что возможные и непредвиденные задержки с получением конечного результата чаще всего происходят не по вине отдельных ученых, а в результате непредвиденных обстоятельств. Поэтому не следует устанавливать для ученых заранее невыгодные требования (типа выделения дополнительно какого-то процента собственных средств наряду со средствами заказчика), а также условия по возврату полученных средств, если не выполнены, скажем, все обязательства по достижению результата (такой практики в мире не существует);*
- *наконец, гарантии получения целевого конечного научного результата, которая может сильно повыситься при условии основательной предварительной проработки всех деталей и тонкостей, зафиксированных в двух- и многосторонних договорах.*

Конечно, здесь изложены только некоторые важнейшие условия организации творческого процесса. В жизни их гораздо больше.

В завершение следует подчеркнуть: для того чтобы уравновесить ожидания общества от науки, а также возможности и способности самих ученых и творческих коллективов, важно признать наиболее важной формой взаимодействия государственный заказ на разработки широкой народнохозяйственной значимости (программы, проекты, продукты и пр.). Он должен объявляться заблаговременно и проводиться на конкурсных началах. А ученые, со своей стороны, независимо от сферы занятости и научного статуса, включая и зарубежных, могут и должны принимать участие в данном конкурсе. Победителям будет принадлежать преимущественное право на разработку, в соответствии с которым станет формироваться и право ответственности. Ничего другого более прозрачного и действенного в мире пока не придумано. ■

Экономические связи Кубы с государствами Большой Евразии



Одной из стратегических целей развития Республики Беларусь является диверсификация и увеличение товарного экспорта. Особую роль здесь играет поиск дополнительных возможностей по расширению внешнеторговой деятельности посредством освоения новых рынков «дальней дуги», к которым относится Республика Куба. Учитывая сложную геополитическую обстановку и санкционное давление, укрепление сотрудничества целесообразно осуществлять на многосторонней основе, привлекая такие ключевые государства Большой Евразии, как Китай, Турция, Иран и Индия. Это обуславливает актуальность изучения опыта их взаимодействия с Кубой для выявления приоритетов и оптимальных форматов развития экономических связей.



Екатерина Тавгень,
научный сотрудник
Института экономики
НАН Беларуси

Куба и Китай

Основные направления экономического сотрудничества Китая и Кубы отражают общую стратегию взаимодействия КНР со странами Латинской Америки и Карибского бассейна (ЛАКБ), которая закреплена в соответствующем программном документе от 2016 г. В нем определены интересы Китая в области торговли, промышленных инве-

стиций, финансового, энергетического и инфраструктурного сотрудничества в регионе [1] с приоритетами, включающими обеспечение доступа к сырью и сельскохозяйственным товарам и открытие местных рынков для китайских товаров и услуг.

Горнодобывающая отрасль наиболее привлекательна для новых инвестиционных проектов, составляя 27% от общей стоимости вложений [2]. Однако наблюдается диверсификация на отраслевом уровне: в то время как доля проектов в области металлов и ископаемого топлива сокращается, более высокие объемы инвестиций направляются в такие секторы, как телекоммуникации, недвижимость, продукты питания и возобновляемые источники энергии. При этом энергетический сектор выступает основ-

ной целью слияний и поглощений со стороны китайских компаний в ЛАКБ. Государственные предприятия и крупные частные корпорации КНР вложили значительные средства в «новую инфраструктуру», включающую умные города, искусственный интеллект и технологию 5G [1].

Все большую значимость приобретают строительные контракты, которые в большинстве случаев распределяются государством и финансируются китайскими банками. Большинство из них приходится на энергетический и транспортный секторы. Участие китайских компаний в развитии инфраструктуры в ЛАКБ сосредоточено в основном на проектах «под ключ». При этом они не проявляют особого интереса к государственно-частным инвестиционным

проектам, которые характеризуются более строгими требованиями по их реализации и долгосрочными рисками.

Удовлетворение энергетических потребностей Кубы во многом зависит от импорта и иностранных инвестиций, львиную долю которых составляют вложения китайских компаний. В 2017 г. был подписан Меморандум о взаимопонимании между Cuban Electronics Group и китайской компанией Haier о создании совместного предприятия и центра НИОКР в области возобновляемых источников энергии [3]. Китай содействует кубинскому электроэнергетическому предприятию Union Electrica в освоении новейших информационных технологий и продвигает проект новых фотоэлектрических парков.

В рамках функционирования Совместной комиссии по научно-техническому сотрудничеству были достигнуты договоренности о реализации более 200 проектов, охватывающих такие секторы, как сельское хозяйство, животноводство, производство продуктов питания, легкая промышленность, металлургия, био- и информационные технологии, изменение климата, автоматизация процессов, робототехника и искусственный интеллект.

Реализуется проект по развитию Китайско-латиноамериканского промышленного парка (PICLA), где Куба выступает в качестве отправной точки. Данная инициатива правительств обеих стран стимулирует развитие кубинской промышленности и электронной коммерции и выступает передовой платформой для выхода на рынки ряда стран Латинской Америки. PICLA планирует расширить свою деятельность на Никарагуа и Венесуэлу, а также принять новых

членов после того, как будут созданы прочные основы ее функционирования.

Проект охватывает 3 основных сектора: инвестиции с участием китайских фондов, строительство, торговля – и принесет пользу за счет многомерного подхода, поощряя привлечение иностранного финансирования благодаря сотрудничеству и кооперации и формированию производственных цепочек в стратегических секторах. Для налаживания межфирменных отношений в рамках PICLA в 2023 г. была разработана электронная платформа для оптовой торговли Dofimall, где будет оформляться большая часть коммерческих поставок между государствами.

Неспособность кубинского рынка и сектора услуг предоставлять капитальные товары, техническую поддержку и высококвалифицированных сотрудников обуславливает прагматичный подход КНР в отношении Кубы, и, ориентируясь на геоэкономические интересы, она отдает приоритет другим странам региона.

Куба и Турция

Двусторонние отношения между Турцией и Кубой формализованы в ряде основных документов, последний из которых был подписан в 2024 г. и устанавливает двустороннюю Экономическую повестку на период 2024–2026 гг. Пересмотр Соглашения о взаимном поощрении и защите инвестиций является одним из приоритетных вопросов для создания основных блоков двустороннего коммерческого сотрудничества.

Внешняя торговля между двумя странами ниже своего потенциала из-за санкций, введенных против Кубы. Страна

покупает турецкую продукцию не напрямую из Турции: 80% товаров поступает через итальянские и французские компании. В 2022 г. двусторонний товарооборот превысил 130 млн долл., планируется увеличить его до 200 млн долл. в год [4].

Коммерческие отношения могут получить больший импульс благодаря новым совместным проектам. Так, в 2024 г. страны провели в Стамбуле первое заседание рабочей группы по рассмотрению сотрудничества в области здравоохранения в таких аспектах, как неотложная помощь и медицина катастроф. В ходе встречи также были подняты вопросы цифровой трансформации, развития кубинских биотехнологий и их ведущих продуктов для лечения рака.

В число целевых секторов входят туризм, строительство, энергетика, розничная торговля, текстиль, сельское хозяйство и продукты питания. Турция выражает намерение принять участие в кубинской особой зоне развития «Мариэль» (ZEDM).

Важная роль отводится Турецкому агентству по сотрудничеству и координации (TIKA), обеспечивающему взаимодействие между государственными учреждениями и организациями, университетами, некоммерческими структурами и частным сектором и функционирующему как платформа для помощи в целях развития. В планах TIKA – реализация сельскохозяйственных проектов на Кубе.

Одна из ключевых проблем – это банковские платежи, осуществляемые через третьи страны, что затрудняет деловые операции [5]. Ведутся переговоры с соответствующими министерствами и банками для устранения данного препятствия.

Куба и Индия

Экономическое сотрудничество между странами ведется в таких ключевых секторах, как фармацевтика, туризм, возобновляемые источники энергии, сельское хозяйство, биотехнологии, инфраструктура.

Помощь в целях развития остается приоритетным направлением в двусторонних отношениях, что предусматривает оказание финансовой и гуманитарной помощи, например, для ликвидации последствий стихийных бедствий, безвозмездную передачу медицинского оборудования, сельскохозяйственной техники и прочих товаров, а также ежегодное предоставление кубинцам 60–70 учебных мест в рамках индийской программы технического и экономического сотрудничества.

В целях развития экспортно-импортный банк Индии предоставил правительству Кубы 5 кредитных линий на сумму 243 млн долл. для реализации проектов в секторах сельского хозяйства, агропродовольствия и возобновляемых источников энергии: в частности, 2,7 млн долл. для завода по смешиванию удобрений, 5,1 млн долл. для модернизации производства инъекционных препаратов, 5 млн долл. для предприятия по переработке молока [6]. Продлены кредитные линии для проектов, связанных с когенерацией энергии на сахарном заводе (90,3 млн долл.), строительством ветровой электростанции мощностью 51 МВт (70 млн долл.) и развитием солнечной энергетики мощностью 75 МВт (75 млн долл.) [6]. Ведутся переговоры о продвижении децентрализованных систем использования солнечной энергии, включая мини- и микросети и аккумуляторные батареи.

В сфере здравоохранения партнерство между странами охватывает фармацевтические препараты и медицинские приборы, профессиональную подготовку кадров, предоставление медицинских услуг и создание лечебных учреждений. Запланированы взаимные поставки дженериков (непатентованных лекарственных препаратов) и лекарств первой необходимости. Сочетание кубинского опыта в области биотехнологий и ведущих производственных возможностей Индии обещает качественные и высокорентабельные бизнес-возможности.

Прорабатываются перспективы индийского экспорта инженерных товаров и услуг, таких как транспортные средства и промышленное оборудование, строительство заводов «под ключ»; есть заинтересованность в таких секторах, как комплексная переработка и обрабатывающая промышленность. Индийская сторона намерена учредить свое присутствие в ZEDM.

Для изучения и проработки деловых, торговых и инвестиционных возможностей в 2022 г. в г. Хайдарабад открылось Кубинское бюро для развития торговых и экономических отношений [7], такая же структура появилась в г. Мумбаи для содействия компаниям из Индии при установлении связей с кубинскими коллегами и инициировании сотрудничества.

Тем не менее товарооборот двух стран незначителен (чуть менее 58 млн долл. в 2022 г.). Основные проблемы в расширении торговли связаны с неопределенностью платежей с кубинской стороны, трудностями в получении разрешения на них от кубинского правительства, а также отсутствием доступного объема экспортных товаров. Попытки

Индии заинтересовать местные компании не имеют большого успеха, поскольку все переговоры ведутся с властными органами в отсутствие частного сектора. Предпринимаются усилия по определению ряда иностранных компаний на Кубе, которые могут выступать в качестве агентов для индийских фирм. В 2022 г. проведены переговоры по теме оплаты торговых сделок в индийских рупиях.

Куба и Иран

Развитие двустороннего сотрудничества происходит в таких областях, как наука, технологии, здравоохранение, сельское хозяйство, энергетика, горнодобывающая промышленность, связь и медицина. В число перспективных областей также входят банковское дело, вопросы, связанные с горнодобывающей промышленностью и геологией, бартер товаров. В отношении последнего в 2022 г. была подписана дорожная карта. Куба намеревается импортировать из Ирана сельскохозяйственную технику, оборудование для оросительных систем, продукцию автомобилестроительной промышленности. Иран также может оказать помощь Кубе в производстве и добыче полезных ископаемых (никеля, железа, свинца и золота), модернизации тепло- и гидроэлектростанций (в рамках сотрудничества с иранской электросервисной компанией MAPNA), выпуске энергоэффективного оборудования (включая бытовую технику). В сфере сельского хозяйства интерес представляют такие направления, как птицеводство, разведение мелкого рогатого скота, производство мясных продуктов, ирригационное оборудование, удобрения и пестициды [8].

Страны расширяют партнерство в области морских и воздушных перевозок. Гавана заинтересована в иранских технических возможностях по ремонту самолетов, и обе страны изучают перспективы этого взаимодействия. Куба уже подписала соглашение о закупке деталей и ремонте вагонов с иранской компанией Wagon Pars [9]. Прорабатываются вопросы использования иранских инженерных и технических услуг в жилищном строительстве, модернизации автомобильных и железных дорог.

Ряд иранских частных компаний уже присутствуют на кубинском рынке и активно предоставляют оборудование и услуги, связанные с ИКТ. Эта сфера занимает особое место в повестке дня до 2030 г. по устойчивому развитию страны, расширение сетей связи и электронное управление являются одними из главных направлений для сотрудничества. Куба заинтересована в использовании опыта Ирана в области интеллектуального электронного управления, особенно в сфере образования, а также в предоставлении технологических услуг, в частности развитии инфраструктуры связи, запуске различных платформ и реализации проектов по оптоволокну.

По линии здравоохранения совместно производится ряд вакцин и проводятся клинические испытания на иранской территории по кубинским технологиям. Планируется создание на Кубе совместного технологического комитета и инновационного центра как точки контакта для технологических компаний двух стран. Здоровье и безопасность, медицина, водные ресурсы, управление отходами и борьба с последствиями изменения климата являются приоритетными направлениями сотрудничества.

Кубинское правительство готово принять необходимые меры для открытия иранского торгового центра на Кубе, при этом подчеркивается необходимость привлечения третьих стран. Существуют возможности для производителей потребительских товаров благодаря неудовлетворенному спросу на продукты и услуги и неразвитому сектору розничной торговли, но низкая покупательная способность снижает привлекательность обоих рынков. Объем торговли между государствами довольно низок. Наиболее важной проблемой выступает дефицит информации о деловых возможностях на местных каналах продаж. Отсутствуют соответствующие правовые рамки для поддержки деятельности частного сектора, а соглашения о стимулировании и взаимной поддержке инвестиций и избежании двойного налогообложения требуют окончательного утверждения.

Таким образом, к приоритетным направлениям экономических связей Кубы с такими государствами Большой Евразии, как Китай, Турция, Индия, Иран, можно отнести следующие: транспортная инфраструктура и строительство, энергетика (возобновляемые источники энергии), наука и технологии (в частности, биотехнологии, фармацевтика, ИКТ), оборона и безопасность, сельское хозяйство и производство продуктов питания. При этом среди наиболее оптимальных форматов сотрудничества можно выделить: производственную кооперацию и совместное финансирование инвестиционных проектов с учетом приоритетов, указанных в Плане экономического и социального развития Кубы до 2030 г., и возможностей в рамках ZEDM; торговлю, в том числе

посредством совместного участия в кубинском розничном секторе, а также с использованием электронных площадок; предоставление инженерных и технических услуг в строительстве, модернизации транспортной и энергетической инфраструктуры как на территории Кубы, так и в третьих странах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Г23КУБ-008). 

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. China-Latin America and the Caribbean: Investment, Trade, and Future Prospects / China Briefing // <https://www.china-briefing.com/news/china-latin-america-and-the-caribbean-investment-trade-and-future-prospects/>.
2. Exploring new forms of cooperation between China and Latin America and the Caribbean / ECLAC – United Nations // <https://www.cepal.org/en/publications/43214-exploring-new-forms-cooperation-between-china-and-latin-america-and-caribbean>.
3. China-Cuba: Bilateral Trade and Investment Prospects / China Briefing // <https://www.china-briefing.com/news/china-cuba-bilateral-trade-and-investment-prospects/>.
4. Турция и Куба договорились укреплять двусторонние торговые отношения / Информационное агентство «Красная Весна» // <https://rossaprimavera.ru/news/2833f3a9>.
5. Investment and Cooperation Invitation to ATO Members from the Ambassador of Cuba / Ankara Chamber of Commerce (ATO) // https://www.atonet.org.tr/icerikDetayEN/13085_investment-and-cooperation-invitation-to-ato-members-from-the-ambassador-of-cuba.
6. India – Cuba Bilateral Relations / Ministry of External Affairs, Government of India // <https://www.mea.gov.in/Portal/ForeignRelation/India-Cuba-bilateral-Jan-2025.pdf>.
7. Индия и Куба: продвижение экономических партнерств / Электронное периодическое издание «Росмет» // <https://rusmet.ru/press-center/indiya-i-kuba-prodvizhenie-ekonomicheskikh-partnerstv/>.
8. Iran can be an important economic player in the Cuban development model / Periódico ahora! // <http://www.ahora.cu/en/cuba-en/20344-iran-can-be-an-important-economic-player-in-the-cuban-development-model>.
9. Iran, Cuba Forge Deeper Ties in Transport & Economic Cooperation / Caspian News // <https://caspiannews.com/news-detail/iran-cuba-forge-deeper-ties-in-transport-economic-cooperation-2024-4-30-0/>.

Вадим Демидчик,
главный научный сотрудник
лаборатории роста и
развития растений Института
экспериментальной ботаники
им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси,
член-корреспондент

Мargarита Мыслейко,
магистрант Института
экспериментальной ботаники
им. В.Ф. Купревича
НАН Беларуси

Владислав Бондаренко,
старший преподаватель
кафедры клеточной биологии
и биоинженерии растений
биологического факультета
Белорусского государственного
университета

Максим Патрин,
научный сотрудник кафедры
биофизики биологического
факультета Московского
государственного университета
им. М.В. Ломоносова

Вероника Артишевская,
соискатель кафедры клеточной
биологии и биоинженерии
растений биологического
факультета БГУ

Дмитрий Афонников,
заместитель директора
по научной работе Федерального
исследовательского центра
«Институт цитологии и генетики»
Сибирского отделения
Российской академии наук

Мария Черныш,
заведующая учебной
лабораторией биоинженерии
растений и ландшафтного
дизайна, кафедры клеточной
биологии и биоинженерии
растений биологического
факультета БГУ

Феномика растений

Феномика растений – новая область омиксных знаний, изучающая характеристики фенотипа растений в связи с их физиологическими реакциями, экспрессией генов, активностью белков и присутствием ансамблей метаболитов. Феномика широко задействует неинвазивные методы измерения, такие как RGB-, гиперспектральные и термальные (тепловизионные) камеры, системы на основе LIDAR, 3D-сканеры, дроны, робототехнику (феноботы) и др. Получаемые в феномике массивы информации о фенотипе выходят за пределы человеческого зрения, позволяя увеличить количество признаков для селекции новых сортов и анализа их физиологического статуса, что исключительно важно для будущего развития биологии растений, растениеводства и биотехнологии. В феномике широко применяются сверточные нейронные сети, позволяющие углубить понимание фенотипов и установить корреляции между ними и другими характеристиками организма. Феномные платформы по аналогии с системами генотипирования обеспечивают сбор, обработку и анализ данных. Феномика в комбинации с геномикой, протеомикой и метаболомикой формирует новейший мультиомиксный подход для анализа растений, который в перспективе будет иметь огромное значение для развития биотехнологии и сельского хозяйства.



Феномика растений как новый раздел биологии и составная часть мультиомиксного анализа живых систем

Современное сельское хозяйство требует более эффективных подходов к селекции и разработке новых агротехнологий, в первую очередь базирующихся на достижениях молекулярной, клеточной и системной биологии, а также на методах искусственного интеллекта, гиперспектрального анализа и робототехники. Разнообразные вопросы экологии, лесного хозяйства, биоразнообразия и зеленой среды обитания также нуждаются в абсолютно новых решениях для неинвазивного анализа отдельных растений и мониторинга популяций.

В последние годы ввиду так называемой «зеленой», или «биологической», революции исследования живых систем достигли значительного прогресса (36% всех научных публикаций, согласно Google Scholar, на 30.07.2025 г.) и совместно с бурно развивающейся информатикой дали начало совершенно новым цифровым подходам в современной биологии, известным как омики или омиксные науки (Omic(s) Sciences) [1]. Глубокой цифровизации подверглись такие разделы, как генетика и молекулярная биология, что связано с расшифровкой геномов (в 1970–1980-х гг. – вирусов и бактерий, а в начале 2000-х – человека и высших растений). В дальнейшем цифровая трансформация «пришла» в физиологию и биохимию, оформив такие дисциплины, как метаболомика и протеомика (1990-е гг.), которые выделились в относительно самостоятельные области биологии (DOI: 10.3390/ijms242316913.). Общим для геномики, метаболомики и протеомики и еще около 200 других омиксных направлений является цифровизация результатов анализа, позволяющая оперировать огромными массивами информации о динамическом разнообразии генов, транскриптов, пептидов, углеводов, липидов и других органических молекул, а в последние годы и фенотипов. Начиная с 1990-х гг. омики дали ответы на многие важнейшие вопросы фундаментальной и прикладной биологии: от расшифровки геномов и прорыва в понимании эволюции живых существ до лечения генетических заболеваний и цифровизации сельского хозяйства. Согласно профессиональным оценкам, они стали флагманским направлением современной науки в целом [2].

Феномика – одна из наиболее активно развивающихся омиксных дисциплин, сводящая к цифровому формату в виде массивов данных и статистически достоверным закономерностям информацию

о морфолого-анатомических и физиологических характеристиках живых систем в стационарных условиях и в процессе их жизнедеятельности либо при ответе на биотические и абиотические воздействия [3]. Это направление вобрало в себя достижения морфологии, анатомии, физиологии и биохимии, подходя к накоплению и анализу данных с помощью цифровых технологий и многочисленных неинвазивных сенсоров, активно внедряя в том числе и подходы на основе искусственного интеллекта, такие как сверточные нейронные сети. Как интегрирующая постгеномная наука феномика совместно с геномикой, протеомикой и метаболомикой формирует так называемый мультиомиксный подход к исследованию биологических систем [3]. Он подразумевает нахождение фундаментальных и практически значимых взаимосвязей между геномом, транскриптомом, метаболомом, протеомом и феномом организма. По ряду оценок, данный подход вскоре станет преобладать в биологии, а также будет иметь исключительно важное значение для развития многих направлений биотехнологии, медицины и сельского хозяйства [4].

Феномика дополняет классический морфолого-анатомический, молекулярный и физиолого-биохимический анализ статистически значимым цифровым материалом о фенотипах на всех уровнях организации жизни. Регистрация и анализ полученных данных называется фенотипированием (Phenotyping), а так как используются при этом в основном цифровые методы, в последние годы активно применяется термин «цифровое фенотипирование» (Digital phenotyping). Для рутинного цифрового анализа в феномике внедряется автоматизация как самого анализа, так и последующей компьютерной обработки данных с большими статистическими выборками – так называемое высокопроизводительное фенотипирование (High-throughput Phenotyping). Если в работах по геномике, протеомике и метаболомике часто применяются небольшие выборки ввиду высокой цены эксперимента (часто максимум до 10 образцов/повторов), то в феномике обычно их анализируется как минимум сотни или тысячи. Феномные опыты лишены проблемы предвзятого отношения исследователей или персонала, производящего измерения, что имеет огромное значение для эффективной селекции качественных сортов. Возможности феномных сенсоров намного шире способностей человеческого зрения (табл. 1), они вовлекают измерения от ультрафиолетовой до дальней красной части спектра (и шире), термальный

Параметры Методы	Тип камеры или сенсора	Первичная информация	Первичная информация	Тестируемые физиологические характеристики	Масштабность
Получение RGB-изображений и видео в видимой области электромагнитного спектра (RGB imaging, Greyscale Imaging)	RGB-камера или Greyscale-камера (диапазон чувствительности ~380–720 нм)	Цифровая фотография или видео растения или его частей, включая микроскопию	Выделение форм, текстур, сегментация интенсивности RGB-каналов, создание нейронных сетей	Морфология, размеры и архитектура, RGB-индексы, скорость роста, прорастания, цветения, плодоношения, отмирания растений и т.д.	Лаборатория, теплица, поле, естественные природные условия
Флуоресцентная съемка (Fluorescent imaging)	Флуоресцентная оптика и чувствительная камера, РАМ-флуориметр	Изображение листа, всего побега или его участков, других фотосинтезирующих или пигмент-содержащих органов	Пиксельная карта флуоресценции, интенсивность светового потока в области флуоресценции хлорофилла	Фотосинтетический статус, квантовый выход, физиологическое состояние листа, архитектура побега, их динамика	Полевые, лабораторные (контролируемые)
Термальная съемка	Камера, чувствительная к инфракрасной области спектра (8–14 мкм; разрешение до 0,01 К)	Пиксельная карта температуры поверхности в инфракрасном спектре	Изображения листьев или побегов, делянок, полей (дроны, вышки, рельсовые системы), динамика изменения температуры	Температура поверхности листа, наличие и степень инвазии насекомых, поражения абиотическими стрессорами	Лабораторные (контролируемые), полевые
Гиперспектральная съемка (в упрощенной форме – мультиспектральная)	Камеры для спектральной съемки с шириной канала до 0,02 нм и покрытием до микрометрового диапазона, наборы светофильтров для мультиспектральной съемки	Непрерывный или дискретный спектр	Изображения листьев или побегов, делянок, полей (дроны, вышки, рельсовые системы), динамика изменения температуры	Спектр поверхности, параметры водного статуса, поражение биотическими стрессорами, общее физиологическое состояние, переход фаз онтогенеза, показатели роста и развития	Лабораторные (контролируемые), полевые
3D-сканирование	Система стереоскопических трехмерных RGB или мультиспектральных сканеров	Серия снимков всего побега при различных разрешениях	Карта глубины	Морфология семян, ориентация листьев, структура кроны, архитектура корня, линейные размеры растения	Полевые, лабораторные (контролируемые)
Получение изображения отраженного лазерного луча (Light Detection and Ranging «обнаружение и определение дальности с помощью света»: LIDAR)	Лазерный локатор	Реконструкция частей растения, отдельных растений и популяций	Карта глубины, 3D-облако точек, объемные изображения	Морфология, объем и структура побегов, крон деревьев, семян, ориентация листьев, архитектура корня (инвазивно), линейные размеры больших групп растений (ярусы леса)	Полевые, лабораторные (контролируемые), полевые, природные
Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Магнитно-резонансный томограф	Изображения с разрешением 200–500 нм, время регистрации: 1–600 с	Водные (1H) карты	Морфометрические параметры в 3D, содержание воды	Лабораторные (контролируемые)
Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)	Позитронный эмиссионный детектор для изотопов с малым временем жизни (например, ¹¹ CO ₂)	Изображения с разрешением 1–2 нм, время регистрации: 10 с – 20 мин	Карты движения радиодетектора, позитронные эмиссионные сигналы (совместная регистрация)	Разделение и скорость потоков жидкости	Лабораторные (контролируемые)
Компьютерная томография (КТ)	Рентгеновский компьютерный томограф, рентгеновский цифровой томограф	Изображения с разрешением до 100 нм, время регистрации: часы	Воксели и срезы тканей, изображение слоев для реконструкции внутренней структуры	Морфометрические параметры в 3D, морфологические характеристики зерна	Лабораторные (контролируемые)

Таблица 1. Основные методы регистрации фенотипа растений в фенонных комплексах

имиджинг, пространственное измерение флуоресценции, компьютерную томографию и другие подходы.

В исследованиях живых систем феномика, вероятно, наиболее применима к царству растений (*Plantae*), включая Цианобактерии/Сине-зеленые водоросли (*Cyanobacteria*), как схожие по жизненным принципам хлорофиллсодержащие фотоавтотрофные организмы. Это связано с тем, что они отличаются высокой фенотипической пластичностью по сравнению, например, с животными. При этом они являются экологически значимой и доминирующей по занимаемой площади и производимой биомассе группой живых существ, генетически и метаболически не уступающих или даже превосходящих царство животных (*Animalia*). Человечество очень сильно зависит от растений: от газового состава атмосферы и пищи до материалов и энергии, фармакологических субстанций и сырья для органического синтеза и биотехнологий. Следует отметить, что феномика животных также бурно развивается, в особенности ее разделы, связанные с исследованием патологий, психики и сложного поведения.

Для процесса фенотипирования важно создание платформ, то есть аппаратно-программных комплексов, приспособленных для автоматизированной цифровой обработки групп объектов, близких по размерам, морфологии и жизненному циклу [3]. В Беларуси, России и других странах Восточной Европы это направление только начинает развиваться, тогда как в мире оно уже стало одним из наиболее популярных и активно используемых как в фундаментальных, так и прикладных исследованиях. Среди последних тенденций можно отметить переход к крупным полевым установкам, а также активное внедрение методов цифрового фенотипирования и машинного обучения в селекцию, растениеводство, агрохимию, экологию и биотехнологию.

Термин «фенотип» (от греч. *phainein* и *typos*, что означает «показывать» и «тип») был введен В. Йохансеном в 1911 г. [5]. В 1949 г., когда геном был определен как материальная основа генотипа, понятие «феном» было впервые выделено как сумма экстрагенных, неавторепродуктивных частей биологического объекта и представлено как набор фенотипов [6]. Под феномом стали подразумевать наблюдаемое проявление генотипа или набора возможных генотипов в масштабе всего организма или популяции. В 1990-х гг. в контексте изучения сложных генетических заболеваний человека и в качестве клю-

чевого дополнения геномики возникла необходимость выделения новой дисциплины – феномики – с целью преодоления разрыва между данными генетического анализа, физиологическими патологиями и клинической картиной заболевания (DOI: 10.1164/ajrcsm.156.4.12.tac.5). В области биологии растений направление приобрело исключительно широкий смысл и стало активно развиваться, так как растения обладают значительными вариациями фенотипа и более сильными фенотипическими ответами на экологические факторы. Современная феномика фокусируется на двух ключевых областях: изучении фенотипов и разработке методов их исследования. Это подразумевает глубокое, многомерное, междисциплинарное изучение фенотипов на уровне части, всего организма или популяций в ходе развития и при реакции на факторы окружающей среды, а также наборы методов и протоколов, используемых для точного измерения роста, строения и состава растений в различных масштабах [7].

Бурный прогресс феномики растений (4373 статьи в базе Scopus было опубликовано только в период с 01.01.2025 г. до 01.08.2025 г.) обусловлен ее колоссальным потенциалом для фундаментальной науки и прикладных отраслей, таких как сельское хозяйство и биотехнология. Он связан с развитием мультиомиксных исследований, все более эффективных систем регистрации изображений в различных областях спектра, методов стандартизации культивирования растений, сенсорных технологий, инновационной робототехники и систем анализа данных с применением компьютерного зрения и машинного обучения. Считается, что в будущем это позволит создать цифровые модели процессов жизнедеятельности и контроля продуктивности растений на клеточном и организменном уровне в связи с динамикой экспрессии генов, протеома и метаболома [2, 3, 7].

Высокопроизводительное цифровое фенотипирование растений активно развивается не только в лабораторных условиях, но и на открытых площадках, при изучении лесных массивов и природных фитоценозов. Существует множество примеров успешного прикладного применения феномных технологий в сельском хозяйстве, в частности для отбора стрессоустойчивых и высокопродуктивных линий полевых культур, цифровизации процесса выращивания винограда и других древесных растений, коррекции минерального питания и использования средств агрохимии, предсказания урожая, а также анализа воздействия патогенов на декоративные растения и лесные породы.

Феномные технологии для диагностики питательных расстройств растений, поражения фитопатогенами и анализа устойчивости к абиотическим стрессовым воздействиям

Классические методы диагностики питательных расстройств часто малоэффективны, так как способы выявления повреждений растения могут быть недостоверными и несвоевременными. Так, например, элементный анализ почвы и растений доступен ограниченно, он затруднителен в пробоподготовке, а ошибка измерений может достигать значительных величин. Также для большого числа проб он практически невозможен для рутинного использования ввиду дороговизны. В случае поражения фитопатогенами также имеется целый ряд ограничений, в первую очередь связанных с невозможностью генетической и детальной морфологической классификации их рас в условиях поля, плантации или питомника. Также часто невозможно проводить большое количество генетических анализов по идентификации фитопатогенов ввиду их высокой стоимости и длительности самих тестов. Все это приводит к тому, что нарушения минерального питания и негативный эффект биологических агентов, а также и абиотических стрессоров практически автоматически учитывается как неизбежный источник потерь в экономических расчетах, в особенности в отношении неполевых культур, таких как древесные и кустарниковые, а также декоративные растения [8]. В то же время развитие сенсорных и компьютерных технологий привело к появлению новых возможностей анализа как симптомов дефицита элементов минерального питания, так и признаков поражения фитопатогенами [9]. Созданы масштабные цифровые феномные базы данных на коммерческой и волонтерской основе (DOI: 10.1109/TLA.2018.8444395; 10.1016/j.atech.2024.100568; 10.1016/j.heliyon.2025.e43002.); plant-diseases.uada.edu). Феномика сейчас позволяет неинвазивно и с низкими затратами времени и ресурсов выявлять изменения фенотипов растений, связанные с влиянием стрессоров, включая недостаток элементов минерального питания и воздействие патогенных организмов различной природы [8]. При этом наиболее активно задействуются программно-аппаратные платформы на базе сверточных нейронных сетей, которые могут определять даже самые малозаметные и сложные эффекты [10].

Как уже указывалось выше, получаемые благодаря феномным методам массивы данных о стрес-

совом состоянии растений регистрируются и обрабатываются автоматически, они не имеют проблемы субъективности и низкой статистической достоверности (DOI: 10.1016/j.tplants.2015.10.015.). Для анализа расстройств минерального питания и для изучения действия стрессоров феномные технологии регистрируют параметры фенотипа не только в видимом спектре, но и в гиперспектральном диапазоне, используют томографию, термальный имиджинг и другие новейшие подходы [8, 11]. Достигнуты значительные успехи в применении платформ на базе нейронных сетей при анализе зрелости и выявлении сортовых различий у плодовых культур, таких как томаты, перцы и яблоки, а также их поражения некоторыми фитопатогенами (DOI: 10.1016/j.eswa.2014.09.057.), установлении морфофизиологических стадий развития листьев модельных и сельскохозяйственных видов (DOI: 10.1186/s13007-018-0273-z.), поиске взаимосвязей между генотипом и фенотипом в связи со стрессом, вызываемым питательными расстройствами (DOI: 10.1186/s13007-018-0333-4.), раскрытии особенностей повреждения листьев однодольных растений патогенами (DOI: 10.1094/PHYTO-11-16-0417-R.), анализе закономерностей формирования соцветий (DOI: 10.1186/s13007-017-0254-7.), исследовании архитектуры целого растения в связи со стрессовыми ситуациями (DOI: 10.3389/fpls.2018.00866.), прогнозировании механизмов хлороза листьев при дефиците железа (DOI: 10.3389/fpls.2018.01002.).

Таким образом, применение феномных технологий для понимания причин расстройств у растений и механизмов их адаптации может помочь в разработке принципиально новых технологий для их выращивания. Это позволит ускорить селекцию и получение высококачественных сортов, устойчивых к стрессорам. Важнейшим элементом эффективного использования феномных подходов в будущем может стать универсальность работы нейронных сетей для анализа нарушений минерального питания, эффектов абиотических стрессоров и поражения фитопатогенами, а также уникальная возможность анализа сочетанного влияния данных негативных факторов на растения.

Мультиомиксный анализ для решения проблем растениеводства

Исключительная важность изучения и контроля фенотипа организма (фенома) в его взаимосвязи с информацией о полном геноме и геномных вариациях была обозначена уже на заре постгеномной эры.

Становление высокопроизводительных методов феномики произошло, во-первых, в ответ на запрос прикладной генетики и селекции, для которых с целью выявления генов, связанных с селекционно важными признаками, требуется анализ фенотипа тысяч растений. Во-вторых, не менее важная роль омиксным знаниям отводится в фундаментальной науке, которая является основой современного растениеводства и раскрывает механизмы физиологических процессов, генетических, белковых и метаболических детерминант роста, развития и ответа растения на различные виды стресса, дефицит воды, элементов питания и присутствие других организмов.

Решение проблем физиологии растений и растениеводства практически невозможно без проведения массовых тестов, оценки характеристик побегов, плодов, корней и других органов, сохранения этой информации в цифровой форме, ее автоматической обработке. Высокопроизводительная феномика позволяет максимально исключить из решения этих процессов человека за счет внедрения таких инженерных решений, как автоматические системы фенотипирования «на столе», управляемые компьютером автоматические фенокамеры, боксы и теплицы, а также дает возможность в цифровом формате связать особенности проявления фенотипа с наличием и активностью генетических последовательностей.

В современной феномике все чаще применяются полевые системы, беспилотные летательные аппараты и специализированные роботы (феноботы) с разнообразными сенсорами (фото-, мульти- и гиперспектральные камеры, лазерные датчики расстояния, тепловые сенсоры и др.), позволяющие получать в процессе мониторинга культур сотни параметров, большинство которых человеческими органами чувств оценить невозможно (табл. 1). Например, при анализе устойчивости различных генотипов ячменя к засухе в автоматизированной теплице для оценки состояния растений были использованы 388 фенотипических характеристик, полученных на основе анализа изображений в видимом, инфракрасном, ультрафиолетовом диапазонах, различных характеристик формы и размера побегов [12]. Эти преимущества феномики позволяют представить данные о состоянии сельскохозяйственных растений и их морфологии с исчерпывающей полнотой и детализацией.

Выбор дальнейшего использования феномных данных зависит от задачи. Для специалистов в области генетики и молекулярной биологии это пре-

жде всего интеграция с геномными и молекулярно-генетическими сведениями: поиск ассоциаций между признаками растений и генетическими вариациями, особенностями экспрессии генов и эпигенетической регуляции. Статистический анализ позволяет установить связь между признаками фенотипа и локусами в геноме на основе методов выявления у локусов количественных признаков (Quantitative trait loci; QTL) или полногеномного анализа ассоциаций (Genome-wide association studies; GWAS). Дальнейший биоинформатический анализ позволяет осуществить поиск и приоритизацию генов в выявленных участках генома, провести их более детальное экспериментальное исследование вплоть до редактирования. Например, технологии оценки характеристик размера, формы и цвета зерен мягкой пшеницы на основе цифровых изображений продемонстрировали очень высокую чувствительность, что позволило установить статистически достоверную корреляцию этих данных с длительностью хранения зерен в генбанке и их всхожестью, выявить локусы, ассоциированные с этими признаками [13, 14]. Li с соавт. (2020) провели автоматическое фенотипирование растений хлопка в теплице для изучения механизма генетического контроля их устойчивости к засухе (феномно-геномное исследование). Авторы использовали 119 феномных признаков побегов, полученных на основе цифрового анализа изображений (56 морфологических и 63 текстурных) на разных стадиях развития (6 временных точек), что позволило с очень высокой точностью связать геномный и феномный уровень происходящих изменений. Было проанализировано 200 образцов хлопка и установлены 390 локусов в геноме, которые содержали как ряд уже известных генов, ответственных за ответ растений на засуху, так и новые, которые ранее не были ассоциированы с этим признаком (DOI: 10.1111/pbi.13431.). Выявление механизмов генетического контроля развития метелки у риса было недавно проведено при помощи комбинации методов феномики и геномики (GWAS) (DOI: 10.1104/pp.18.00974). Первые были направлены на автоматическую оценку длины, ширины, площади, объема метелок при помощи анализа цифровых изображений. Эти данные были получены для 272 генотипов, что послужило основой для анализа ассоциаций. Авторы установили 35 локусов в геноме риса, для которых наблюдалось 38 ассоциаций с признаками размера и формы метелки. На их основе была реконструирована модель генной сети контроля развития соцветия риса, включающая гены-кандидаты из выявленных локусов. Такая информация,

полученная в ходе феномно-геномных исследований, может быть напрямую использована для получения новых сортов растений с целенаправленно измененными полезными свойствами (высокая урожайность, устойчивость к заболеваниям, засухе, повышенные вкусовые качества и т.п.).

Цифровые фенотипические данные совместно с результатами метаболомных и протеомных экспериментов позволяют существенно углубить наше понимание молекулярных процессов. Метаболомные данные обеспечивают информацию об ансамблях молекул, задействованных в ответе на стресс на клеточном и организменном уровне, что имеет огромное значение, так как различные стрессоры сокращают урожаи в мировом масштабе в 3–4 раза. Феномные данные (оценка интенсивности фотосинтетических процессов, сведения, полученные с помощью гиперспектральных сенсоров) позволяют определить, как влияет состав этих молекулярных ансамблей на общее состояние тканей, органов и всего растения. Так, совместный анализ 1848 гиперспектральных индексов растений, 887 метаболитов у 533 образцов риса позволил выявить 1313 ключевых гиперспектральных индексов и 554 метаболита, связанных с такими процессами, как формирование окраски растения и биосинтез липидов (DOI: 10.1186/s13059-025-03513-w.). Анализ полногеномных ассоциаций этих параметров дал возможность установить новые гены, участвующие в биосинтезе флавоноидов риса и обеспечивающие защиту растений в ответ на стресс (что направляет селекцию новых сортов). Роль этих генов была далее подтверждена на основе транскриптомных параметров.

Подход на основе интеграции феномных и метаболомных данных был применен для изучения ответа растений на засоление почвы у салата-латука и томата с добавлением биостимулянта, белкового гидролизата и без него (DOI: 10.3389/fpls.2021.808711.). Фенотипические признаки зарегистрированы в процессе роста и развития растений с помощью цифровых камер RGB в фронтальной и вертикальной проекции, а также флуоресцентных и тепловых сенсоров. Метаболомные данные были зарегистрированы в конце эксперимента. Авторы показали, что для двух видов растений значительному влиянию биостимулянтов в ответ на солевой стресс подвержены разные признаки растений. Для салата это был объем листовой массы, которая наиболее сильно зависела от концентрации фитогормонов (ауксина и этилена). Для томата признаки, наиболее точно характеризующие ответ на стресс, оказались связаны с флуоресценцией

хлорофилла и в то же время были подвержены влиянию метаболитов шикиматного пути. На растениях томата было изучено, каким образом арбускулярная микориза влияет на эту культуру – в частности, усиливает физиологический ответ на поражение корневой системы ризоктониозом (DOI: 10.1002/ppp3.10627.). Высокопроизводительное фенотипирование использовалось для ежедневного анализа фенотипа растений, оценки их биомассы и изменений ростовых показателей. Метаболомный анализ был применен для определения состава метаболитов корней. В его результате установлено, что микориза стимулирует рост растений и ответ на заболевание корневой системы, в том числе и за счет изменения концентраций около 70 метаболитов в тканях корня, что может стать важным признаком для будущей селекции устойчивых к патогену сортов томатов (DOI: 10.1002/ppp3.10627.).

Таким образом, интеграция больших омиксных данных (геномных, протеомных, метаболомных и феномных) для растений позволяет определить роль известных генов в контроле роста, развития и ответа на стресс, а также выявлять новые регуляторные гены, вовлеченные в эти процессы, модификация которых поможет повысить стрессоустойчивость и урожайность.

Использование технологий на основе искусственного интеллекта

Высокопроизводительное фенотипирование растений все более часто применяется в комбинации с методами машинного обучения [15, 16]. Возможности искусственного интеллекта (ИИ) используются для анализа данных, выявления и описания коррелятивных связей между фенотипическими признаками, а также их взаимодействия с генетическими, белковыми и метаболитными профилями [16]. Другой важный аспект – автоматизация феномных исследовательских систем (платформ), что исключительно важно для оптимизации ускоренной селекции, мониторинга физиологического состояния культивируемых растений и агротехнологий. В последние годы новые возможности для сбора и анализа фенотипических данных с высокой точностью и скоростью открыло развитие машинного обучения и компьютерного зрения [17].

Принципы первого базируются на статистическом анализе данных, оптимизации моделей и адаптивном обучении для выявления закономерностей и прогнозирования [15]. Основные подходы включают обучение на данных, выбор

признаков и другие методы, такие как «обучение с учителем», «без учителя» и «с подкреплением», «сверточные нейронные сети». Компьютерное зрение работает за счет последовательного применения специальных фильтров, которые сканируют изображение и отмечают важные особенности – сначала простые, такие как линии и границы, потом более сложные, например формы листьев или пятнистости, вызываемые заболеваниями [16]. Эти фильтры накладываются на изображение с определенным шагом, перемножаются с пикселями и суммируются, создавая карты признаков (рис. 1). После каждой свертки идет операция активации, которая делает сеть нелинейной и способной к сложным преобразованиям. Затем применяется пулинг, уменьшающий размерность данных и оставляющий только самые яркие активации, что помогает сети обобщать информацию, не обращая внимания на мелкие смещения объектов. Такой механизм позволяет сети автоматически находить иерархию признаков без ручного программирования, что особенно полезно для анализа растений, где важны многие детали [17]. Эффективность сверточных сетей объясняется их способностью учитывать пространственную структуру данных – соседние пиксели в изображении связаны, и Convolutional Neural Network (CNN) этим пользуется, в отличие от обычных нейросетей, которые обрабатывают данные как плоский набор чисел (DOI: 10.1016/j.compag.2019.105102.). Сверточные нейронные сети, рекуррентные архитектуры и трансформеры позволяют решать задачи классификации, сегментации и регрессии в анализе изображений растений. Например, модели на основе U-Net и Mask R-CNN эффективно сегментируют листья, стебли и корни (DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.), а алгоритмы типа YOLO используются для детекции болезней и вредителей в реаль-

ном времени (DOI: 10.1016/j.compag.2019.105102.). Примеры нашего использования нейронных сетей для обработки феномной информации приведены на рис. 1 и 2.

Важное направление использования ИИ в феномике растений – мультимодальный анализ данных, объединяющий изображения с гиперспектральными, тепловыми и лидарными данными (10.1016/j.rse.2019.111599). Это позволяет оценивать одновременно морфологические признаки и физиологическое состояние растений, например уровень водного стресса или содержание пигментов, что очень важно для селекции (DOI: 10.1016/j.compag.2018.02.016.). Современный обзор методов цифрового анализа в прикладной физиологии растений и растениеводстве показал, что глубокое обучение обеспечивает высокую точность, превосходящую существующие широко распространенные методы обработки изображений (DOI: 10.1016/j.compag.2018.02.016.). Так, в некоторых исследованиях демонстрировался прирост в результатах классификации последних до 30% (DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-1-W1-551-2017.).

Наиболее востребованные модели в агрофеномике – CNN (ResNet, EfficientNet и DenseNet), активно применяемые для классификации сортов и диагностики заболеваний. Модели ResNet (Residual Networks) с их революционной архитектурой остаточных связей позволяют эффективно обучать глубокие сети (более 100 слоев), что важно для распознавания сложных паттернов, таких как поражение патогенами и стрессорами (рис. 2). Например, для ResNet50 продемонстрирована исключительная точность (99,5%) при идентификации 58 классов заболеваний для 25 различных видов растений на датасете PlantVillage (DOI: 10.1016/j.compag.2018.01.009.). Для анализа изображений с большим разрешением и контекстно зависимыми признаками может

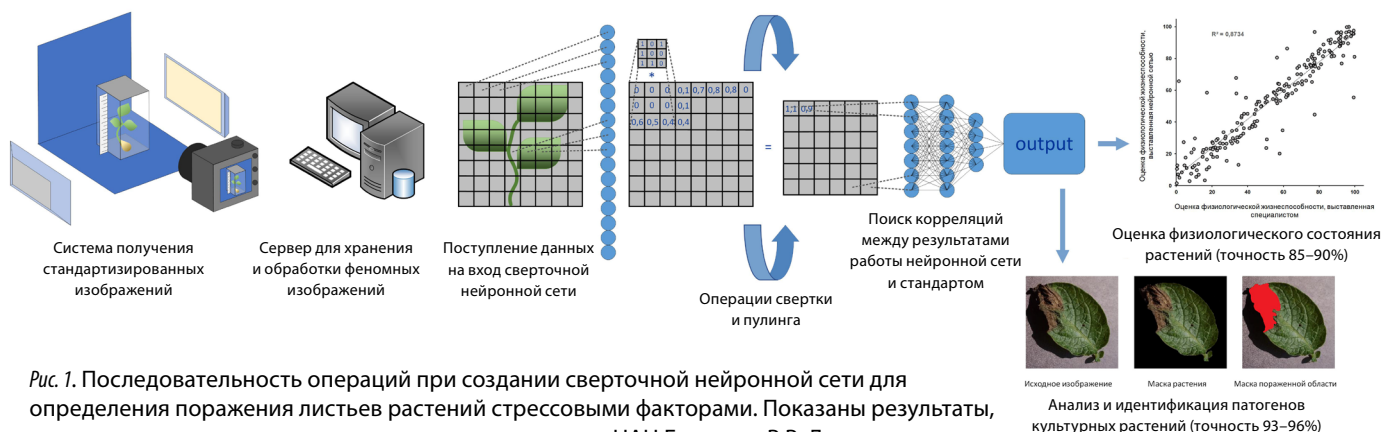


Рис. 1. Последовательность операций при создании сверточной нейронной сети для определения поражения листьев растений стрессовыми факторами. Показаны результаты, полученные под руководством члена-корреспондента НАН Беларуси В.В. Демидчика

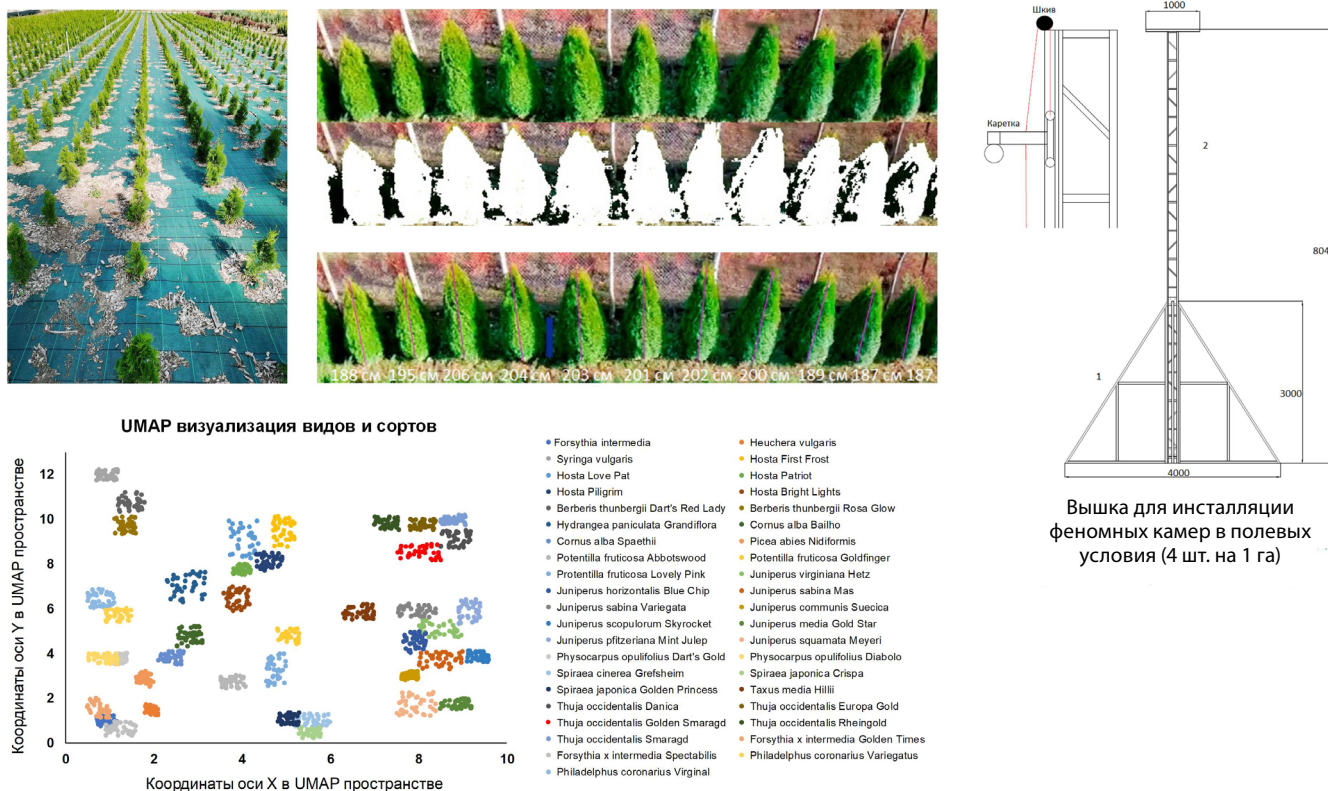


Рис. 3. Использование подходов высокопроизводительного цифрового фенотипирования для определения размеров, формы и скорости роста древесных растений, а также таксономической и сортовой принадлежности декоративных культур. Показаны результаты, полученные под руководством члена-корреспондента НАН Беларуси В.В. Демидчика

задействоваться особый вид моделей машинного обучения, называемый трансформерами (Vision Transformer, Swin Transformer). Vision Transformer продемонстрировал отличную эффективность при работе с изображениями высокого разрешения (10+ мегапикселей), типичными для аэрофотосъемки с дронов. Механизм внимания (Attention) позволяет модели учитывать контекст целой «картинки» при выделении и анализе ее отдельных элементов, что необходимо для точной сегментации отдельных растений в плотных популяциях и цифровой «доработки/восстановления» недостающих фрагментов (DOI: 10.1016/j.compag.2022.107185.).

Несмотря на прогресс, современная агрофеномика находится в стадии развития и имеет технологические ограничения. Основная проблема – дефицит качественных размеченных и проаннотированных датасетов, особенно для редких заболеваний растений, дефицита элементов минерального питания и влияния абиотических стрессоров. Процесс аннотирования данных остается дорогостоящим, продолжительным, чаще всего сезонным и требует специального обучения персонала, постановки модель-

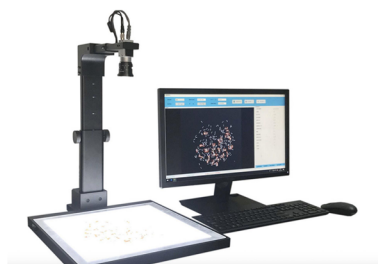
ных опытов или привлечения экспертов-агрономов и физиологов [18]. Существующие модели демонстрируют низкую адаптивность к различным растениям и условиям их выращивания. Вариации освещения и фона снижают точность алгоритмов, в особенности в полевых условиях. Сложные нейросетевые модели часто работают как «черный ящик», что затрудняет понимание данных агрономами и вызывает сложности с интерпретацией решений. В целом эти факторы пока снижают доверие практиков в области сельскохозяйственного производства к ИИ-рекомендациям (DOI: 10.1016/j.agsy.2022.103558.). Кроме того, интеграция таких систем с существующими фермерскими IoT-платформами требует дополнительных доработок.

Современные феномные платформы, их компоненты и возможности

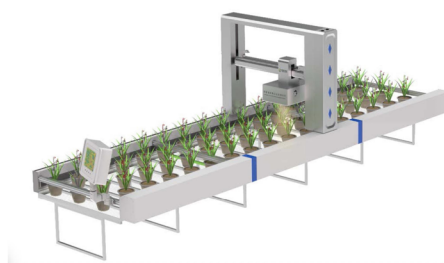
Для проведения цифрового фенотипирования растений во многих странах мира разрабатываются автоматизированные феномные платформы – аппаратно-программные комплексы, обеспечивающие стандартизацию условий выращивания

и регистрации данных, а также их анализ. Феномные платформы часто включают в себя особые боксы для выращивания растений, камеры и другое сенсорное оборудование, устройства для передвижения датчиков и их корректировки, автоматического взвешивания, увлажнения, освещения, системы поддержания микроклимата, датчики контроля функциональности, комплексы компьютерного управления процессами, системы хранения и обработки информации, а также программное обеспечение и соответствующие серверы для анализа изображений, базирующееся на ИИ.

В зависимости от размеров и задач конкретной феномной платформы количество регистрируемых и анализируемых характеристик может сильно варьировать. Обычно могут использоваться следующие сенсоры: RGB-, гиперспектральные и тепловизионные камеры, флуориметры, 3D-сканеры, лидары, X-RAY-, магнитно-резонансные, позитронно-эмиссионные томографы и др. (табл. 1). На рынке представлены как узкоспециализированные платформы, так и более широкопрофильные (линейки LemnaTec, PSI, Phenospex, GreenPheno и др.).



Микросистемы для одиночных растений



Стационарные системы для небольших групп растений в лаборатории или теплице



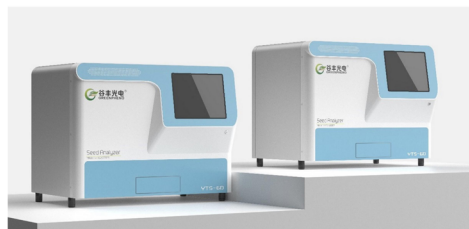
Конвейерные платформы для больших групп растений с множеством сенсоров



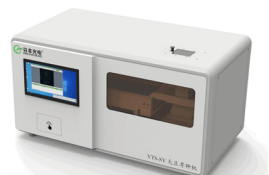
Рамные мультисенсорные платформы для крупных теплиц и больших групп растений



Рельсовые рамные мультисенсорные платформы для полевых условий и больших групп растений



Специализированные феномные системы для анализа семян и их прорастания



Специализированные феномные системы для анализа роста и развития корневой системы

Рис. 3. Феномные платформы различного уровня на примере систем GreenPheno и Phenospex. Схожие системы доступны на платформах LemnaTec, Photon Systems Instruments и др.

Работа феномных платформ подразумевает регистрацию и накопление данных, характеризующих морфологические и физиологические параметры фенотипа с дальнейшей обработкой, приведением к набору баз данных для удобства анализа и собственно оценкой результатов (рис. 3). Чаще всего растительные объекты выращиваются внутри платформ с использованием «умных» теплиц, стендов, конвейеров с вегетационными сосудами или электронных стеллажей в стандартизованных физико-химических условиях. При этом культуры периодически автоматически перемещаются в зоны измерения, оснащенные датчиками (конвейерный тип платформ), либо роботизированная система переносит камеры и другие сенсоры к неподвижным объектам (стационарный тип платформ) по раме, рельсам или на феноботах (моторизованных тележках).

Для корневой феномики в большом количестве платформ применяются затемненные системы плоской гидропоники, узкие полупрозрачные сосуды с почвенными субстратами и др. Построение структуры корневой системы внутри почвы осуществляется с помощью компьютерной томографии, анализ растений в почве – электротомографии (Electrical Resistance Tomography, ERT). Для неинвазивного картирования внутрипочвенной проводимости и построения архитектуры корневой системы задействуется техника электромагнитной индукции почвы (Electromagnetic Soil Inductance, ESMI, EMI). Почвенные радары (Ground Penetrating Radar, GPR) осуществляют картирование внутрипочвенных структур на основе рефракции и рассеивания импульсов высокочастотных радиоволн.

Стоимость феномного оборудования довольно высока. Цена системы конвейерного типа – от 2 до 10 млн долл., стационарной платформы – от 500 тыс. до 2 млн долл. (LemnaTec (Германия), Photon Systems Instruments (Чехия), Phenospex (Нидерланды), GreenPheno (Китай), Qubit Phenomics (Канада), Phenomix (Франция), Delta-T Devices (Великобритания), Heinz Walz (Германия), WPS (Голландия), CropDesign BASF (Бельгия), WIWAM (Бельгия), Rothamsted Research (Великобритания), VBCF (Австрия) и др.). Программное обеспечение для рутинного цифрового фенотипирования разрабатывают многие компании и научные лаборатории; его обзор представлен на портале Plant Image Analysis.

Анализ современного состояния проблемы цифрового фенотипирования показал, что сформировалась новая область знаний – феномика растений, представляющая собой постгеномное омиксное

научное направление. Для внедрения ее методов требуется системная работа как по созданию собственных научных школ и отечественных платформ, так и обучению персонала.

Работа финансировалась в рамках грантов БРФФИ №Б24–060–01 (№госрегистрации 20252032) и №Б25КИ-086 (№госрегистрации 20250436), а также задания ГПНИ НИР 2.04.5 (№ГР 20211705) и Отдельного проекта НАН Беларуси (Тема №12). ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Hayes C.N. From Omics to Multi-Omics: A Review of Advantages and Tradeoffs / C.N. Hayes [et al.] // *Genes*. 2024. Vol. 15, №12. P. 1551.
- Dai X. Advances and Trends in Omics Technology Development / X. Dai, L. Shen // *Frontiers in Medicine*. 2022. Vol. 9. P. 911861.
- Демидчик В.В. Феномика растений: фундаментальные основы, программно-аппаратные платформы и методы машинного обучения / В. В. Демидчик [и др.] // *Физиология растений*. 2020. Т. 67, №3. С. 227–245.
- Zhang R. Integration of multi-omics technologies for crop improvement: Status and prospects / R. Zhang [et al.] // *Frontiers in Bioinformatics*. 2022. Vol. 2. P. 1027457.
- Johannsen W. The genotype conception of heredity / W. Johannsen // *Am Nat*. 1911. Vol. 45. P. 129–159.
- Davis B.D. The Isolation of Biochemically Deficient Mutants of Bacteria by Means of Penicillin / B.D. Davis // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1949. Vol. 35, №1. P. 1–10.
- Awada L. The evolution of plant phenomics: global insights, trends, and collaborations (2000–2021) / L. Awada, P.W.B. Phillips, A.M. Bodan // *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. P. 1410738.
- Walter A. Smart farming is key to developing sustainable agriculture / A. Walter [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017. Vol. 114. P. 6148–6150.
- Li L. A Review of Imaging Techniques for Plant Phenotyping / L. Li, Q. Zhang, D. Huang // *Sensors*. 2014. Vol. 14, №11. P. 20078–20111.
- Singh Deep A. K. Learning for Plant Stress Phenotyping: Trends and Future Perspectives / A. K. Singh [et al.] // *Trends in Plant Science*. 2018. Vol. 23, №10. P. 883–898.
- Chiaiese P. Renewable Sources of Plant Biostimulation: Microalgae as a Sustainable Means to Improve Crop Performance / P. Chiaiese [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 1782.
- Chen D. Dissecting the Phenotypic Components of Crop Plant Growth and Drought Responses Based on High-Throughput Image Analysis / D. Chen [et al.] // *The Plant Cell*. 2015. Vol. 26, №12. P. 4636–4655.
- Relationship between the Characteristics of Bread Wheat Grains, Storage Time and Germination / D.A. Afonnikov [et al.] // *Plants*. 2021. Vol. 11, №1. P. 35.
- Arif M.A.R. QTL Analysis for Bread Wheat Seed Size, Shape and Color Characteristics Estimated by Digital Image Processing / M.A.R. Arif [et al.] // *Plants*. 2022. Vol. 11, №16. P. 2105.
- Nabwire S. Review: Application of Artificial Intelligence in Phenomics / S. Nabwire [et al.] // *Sensors*. 2021. Vol. 21, №13. P. 4363.
- Murphy K. M. Deep Learning in Image-Based Plant Phenotyping / K. M. Murphy [et al.] // *Annual Review of Plant Biology*. 2024. Vol. 75, №1. P. 771–795.
- LeCun Y. Deep learning / Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton // *Nature*. 2015. Vol. 521, №7553. P. 436–444.
- Astani M.A. A diverse ensemble classifier for tomato disease recognition / M. Astani, M. Hasheminejad, M. Vaghefi // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 198. Art. 107054.

Вытокі беларускага этнасу



Першыя людзі на Беларусі з'явіліся каля 300 тыс. гадоў назад, у эпоху палеаліту, які пачаўся 2,6 млн гадоў назад і доўжыўся да X тысячагоддзя да н.э. Аб пракаветным засяленні рэгіёна чалавекам разумным (*Homo sapiens*) сведчыць калекцыя старадаўніх каменных прылад працы, выяўленых паблізу вёскі Агова (Іванаўскі раён).

Яшчэ адно даўняе паселішча людзей – гэтым разам тых, што жылі на беларускай зямлі каля 40 тыс. гадоў таму – адшукана непадалёк ад Нава-сёлак у Веткаўскім раёне Гомельскай вобласці.

Старажытная стаянка ў Юравічах (Калінкавіцкі раён) мае ўзрост каля 26 тыс. гадоў, а паблізу вёскі Бердыж (Чачэўскі раён) – каля 24 тыс. гадоў. Асобныя крамянёвыя прылады працы каменнага веку знойдзены каля вёсак Свяцілавічы Веткаўскага і Абідавічы Быхаўскага раёнаў.

У даўнія часы насельнікі Беларусі займаліся пераважна збіральніцтвам, паляваннем на дзікіх звяроў і птушак, а таксама лоўляй рыбы. Яны карысталіся прымітыўнымі прыладамі працы – палкамі і камянямі.

Значны прагрэс адбыўся ў той момант, калі чалавек прызвычаіўся выкарыстоўваць агонь для абагрэву і прыгатавання ежы. Паступова людзі прыручылі сабак і вынайшлі лук са стрэламі, навучыліся ўзводзіць простае жылто і рабіць першыя транспартныя сродкі – платы і лодкі-даўблёнкі.

Прадаўнікі *Homo sapiens* мелі маўленчыя здольнасці. Дзея камунікацыі і арганізацыі калектыўных дзеянняў разам з выкарыстаннем жэстаў яны прамаўлялі гукі і словы, за якімі замацоўваліся пэўныя сэнсы. Прыкладна 100 тыс. год назад узнікла мова, якая паступова эвалюцыянавала і развівалася.

Сучасны чалавек з уласцівымі яму рысамі і паводзінамі сфармаваўся на заключнай стадыі эпохі палеаліту, прыкладна 13 тыс. год назад. Людзі адрозніваліся свядомасцю, інтэлектуальнымі і пазнавальнымі здольнасцямі. Схільнасць да кагнітыўнай дзейнасці, выкарыстанне мовы і сацыяльнае ўзаемадзеянне дазволілі чалавеку разумнаму не толькі выжыць у складаных і зменлівых умовах, але і значна пашырыць арэол рассялення.



Іван Саверчанка,
дырэктар Інстытута
літаратуразнаўства імя Янкі Купалы
Цэнтра даследаванняў беларускай
культуры, мовы і літаратуры
НАН Беларусі, доктар філалагічных
навук, прафесар

Людзі, што належалі да віда *Homo sapiens*, валодалі творчым уяўленнем і фантазіяй, дзякуючы чаму ў іх зарадзілася міфалогія, а з часам пачалі фарміравацца аб'ектыўныя веды пра саміх сябе і прыроду. З'явіліся музыка і скокі, якія выконваліся, як правіла, падчас святаў, магічных рытуалаў і абрадаў.

Цывілізацыйная прыналежнасць

З X тысячагоддзя да н.э., у эпоху мезаліту, якая пачалася пасля істотнага пацяплення і ўсталявання спрыяльных кліматычных умоў, назіраецца сталае засяленне тэрыторыі сучаснай Беларусі. Аб узроўні цывілізацыйнага развіцця і стану тагачаснай матэрыяльнай культуры сведчаць шматлікія археалагічныя знаходкі. У нашай краіне адкрыта каля 120 стаянак таго часу. Буйны археалагічны помнік знаходзіцца ў вёсцы Дзедні Чавускага раёна Магілёўскай вобласці.

Гэтаксама ў вёсцы Крумплева на правым беразе Заходняй Дзвіны, за 30 км ніжэй ад Полацка, знойдзена мезалітычная стаянка. Непадалёк ад яе, на левым беразе каля вёскі Пятроўшчына, знаходзілася яшчэ адно месца пасялення старажытнага чалавека той эпохі.

Беларускія землі асвойвалі пераважна індаеўрапейцы – прадстаўнікі буйной супольнасці, аб'яднанай агульнай мовай, прарадзімай якіх лічыцца тэрыторыя Паўночнага Прычарнамор'я – вялізная прастора паміж Дняпром і Волгай. Пасля прыручэння коней індаеўрапейцы атрымалі магчымасць актыўна рассяляцца ў розных напрамках,

што радыкальна змяніла іх жыццёвы ўклад і дазволіла заняць лідарскія пазіцыі. Рознакірункавая міграцыя суправаджалася асіміляцыяй мясцовага насельніцтва і ўзнікненнем дыялектаў, на аснове якіх з часам сфармаваліся вялікія моўныя групы, а пасля і асобныя мовы.

Індаеўрапейская моўная сям'я атрымала вельмі шырокае разгалінаванне: яна ўключае 10 моўных груп, сярод якіх індаарыйская (індыйская), германская, раманская, балцкая, славянская, кельцкая, індаіранская, грэчаская. Асобнымі мовамі сфарміраваліся армянская і албанская, пры гэтым агульная колькасць індаеўрапейскіх каранёў у іх налічвае некалькі сот адзінак.

У глыбокай старажытнасці індаеўрапейцы належалі да адзінай супольнасці народаў. Філалагічным маркерам на карысць праўдзівасці гэтага меркавання з'яўляецца наяўнасць ва ўсіх індаеўрапейскіх мовах чаргавання гукаў к і ч (беларускае п'яку – п'ячэш). Гэтая фанетычная ўніверсальнасць назіраецца ў фінаўгорскіх і семіцкіх мовах, што дазваляе гаварыць пра супольныя вытокі старажытных цывілізацый.

У часы індаеўрапейскага цывілізацыйнага адзінства на тэрыторыі сучаснай Беларусі ўзніклі і замацаваліся многія з мікратапонімаў, гідронімаў і айконімаў, якія ў найменшай ступені паддаюцца зменам. Наяўнасць у сучасных балцкіх мовах блізкіх да гэтых назваў сэнсаў сведчыць хутчэй пра агульныя з беларусамі этнакультурныя вытокі славянскіх і балцкіх народаў, а не пра сталае засяленне балтамі тэрыторыі сучаснай Беларусі ў мінулым, як часам памылкова лічыцца.

Не выключана, што ў эпоху мезаліту на тэрыторыю заходняй Беларусі паміж Нёманам і Дзвіной з паўночнага ўсходу зайшла невялікая група фіна-уграў. Яны карысталіся вырабамі з рога і косці, а таксама ўжывалі адметную грабенчата-ямкавую кераміку, узоры якой знойдзены каля Пастаў і ў Паазер'і.

У якасці ўпрыгажэнняў прышэльцы выкарыстоўвалі бурштынавыя вырабы – падвескі, кольцы, трубачкі і гузікі. Наяўнасць у беларускай мове фіна-ўгорскіх элементаў з'яўляецца сведчаннем іх прысутнасці на беларускіх землях ці, прынамсі, заўважнага культурнага ўзаемадзеяння з далёкімі продкамі беларусаў.

Як сведчаць вынікі археалагічных прац, у перыяд мезаліту людзі аддавалі перавагу аседламу ладу жыцця, узводзілі трывалае жыллё. У іх з'явіліся навыкі вытворчасці прадметаў адзення і пляцення кошыкаў з лазы і трыснягу. З маладога арэшніку выраблялі прылады для лоўлі рыбы, са ствалоў дрэў рыхтавалі пасткі для дзікіх жывёл.

З пацяпленнем у беларускіх лясах размножыліся новыя віды фаўны: алень, лось, зубр, буры мядзведзь, кабан, бабёр. Далёкія продкі беларусаў умела здабывалі іх падчас паляванняў і ловаў. Майстэрства палявання на дзікіх жывёл і птушак было даведзена да дасканаласці.

У час неаліту, які пачаўся з канца V тысячагоддзя да н.э., людзі навучыліся вырабляць кераміку і прылады працы з крэменю. На беларускай зямлі расквітнела культура шарападобных амфар. З'явіліся першыя ўзоры ткацтва. У Падняпроўі, Панямонні, Падзвінні і ўздож Прыпяці выяўлена каля тысячы неалітычных стаянак. Найбольш вядомы на сёння помнік перыяду неаліту – шахта па здабычы крэменю каля пасёлка Краснасельскі Ваўкавыскага раёна Гродзенскай вобласці.

У эпоху неаліту адбыліся значныя сацыяльна-грамадскія зрухі. З пачаткам выкарыстання бронзы (каля 3200 г. да н.э.), якую выраблялі са сплаваў медзі і волава на Паўночным Каўказе і ў Балкана-Карпацкім рэгіёне, прадоўжыўся працэс актыўнай міграцыі індаеўрапейцаў у розных напрамках. Менавіта наватарскія тэхналогіі вырабу бронзавых мячоў і вынаходніцтва калясніцы забяспечылі іх істотнымі перавагамі перад іншымі народамі Еўропы і Азіі, дазволілі дамінаваць у шэрагу рэгіёнаў.

Найбольш каштоўная пісьмовая крыніца ўсходніх індаеўрапейцаў – «Рыгведа», створаная ў сярэдзіне II тысячагоддзя да н.э. У ёй знайшлі адлюстраванне ўяўленні старажытных людзей аб навакольным свеце, багах і рытуалах, сацыяльным упарадкаванні і космасе, а таксама этыцы і маральных нормах.

Пачалося насычанае сацыяльнае і духоўнае жыццё. Людзі жылі сем'ямі і аб'ядноўваліся ў вялікія супольнасці, што дазваляла ім хутчэй развівацца і лягчэй вырашаць наспелыя праблемы. Удасканальвалася вусная мова, якая дапамагала актыўна камунікаваць, захоўваць назапашаныя веды і перадаваць набыты досвед наступным пакаленням.

Да індаеўрапейскай моўнай праасновы далёкія продкі беларусаў смела дадавалі новыя тэрміны, якія абазначалі дзеянні і прадметы, а таксама іх характэрныя рысы і ўласцівасці. У сучаснай беларускай мове захаваліся і актыўна выкарыстоўваюцца шматлікія назоўнікі, прыметнікі і дзеясловы, якія маюць індаеўрапейскія карані, як напрыклад: брат, сястра, белы, гусь, браць, булькаць, блішчэць, доўгі, пчала, маці, нос, сын, сонца, два, ноч, снег, тры, звер, звон. Менавіта яны з'яўляюцца галоўным індыкатарам прыналежнасці беларусаў да індаеўрапейскай цывілізацыі.

Адбылося заўважнае інтэлектуальнае развіццё людзей, істотна пашырыліся веды пра рэчаіснасць, узбагаціўся жыццёвы досвед. Назіралася значная эвалюцыя свядомасці: у людзей зарадзіліся ўяўленні пра навакольны свет і саміх сябе, пра паходжанне рэк і азёр, крыніц і балот. Духоўна апантаная асобы пачалі тлумачыць з'яўленне вялізных валуноў і пагоркаў, нябёсаў і падземнага свету. Паколькі існаванне і жыццё чалавека наўпрост залежала ад вады, агню, зямлі і паветра, яны абагаўлялі іх, напаўнялі сакральным сэнсам і, урэшце, здзяйснялі рытуальныя дзеянні дзеля іх ушанавання.

Уражаныя нябёсамі, далёкія прашчтуры пакланяліся і шчыра маліліся сонцу і месяцу, зоркам і сузор'ям. Сонца ўяўлялася ім вялікім колам, якое коціцца па небе і дае жыццё ўсяму жывому на Зямлі. Месяц уплываў на ураджай і прыплод. Зоркі і сузор'і, паводле архаічных уяўленняў, прадвызначалі лёс чалавека, моцна ўздзейнічалі на адносіны паміж людзьмі і народамі.

У пракаветныя часы сфармаваліся вераванні ў звышсілы і табу – забароны на пэўныя дзеянні. Узніклі першыя ўзоры вуснай народнай творчасці, замовы і песні, міфы і паданні, развіваліся музыка і скокі, пашыраліся магічныя абрады і таемныя рытуалы.

Неабмежаваная мастацкая фантазія людзей нараджала каларытныя вобразы і яркія сюжэты. Варожыя сілы і небяспечныя з'явы прыроды ўвасобіліся ў персанажы Цмока і змеягаловых істотаў, якія імкнуліся нашкодзіць людзям, нанесці ім урон. Былі створаны тыпажы герояў – дужых асілкаў, мужных абаронцаў людзей, якія выручалі іх з бяды, дапамагалі пераадолець цяжкасці.

Прарадзіма славян

Працэс фарміравання славянскага ядра пачаўся на тэрыторыі сучаснага Беларускага Палесся прыкладна ў II тысячагоддзі да н.э. У гэты час адбылося вылучэнне славян з адзінай балта-славянскай моўнай галіны ў асобную этнічную групу. Паступова сфармавалася праславянская мова, на грунце якой пачынаючы прыкладна з I ст. н.э. пачалі складвацца паўднёvasлавянскія, заходнеславянскія і ўсходнеславянскія мовы.

Найбольш раннія пісьмовыя звесткі пра славян падае старажытнагрэчаскі гісторык і географ Герадот (каля 484–425 гг. да н.э.), аўтар знакамітай «Гісторыі». Ён называе жыхароў сучасных Беларусі і Украіны «неўрамі» і «скіфамі-земляробамі». Герадот упэўнена сцвярджаў, што яны жылі ў басейне

Барысфена (Дняпра), ужывалі хлеб, цыбулю, часнок і проса.

Славутыя рымскія вучоныя Пліній Старэйшы (каля 22–79 гг. н.э.) і Карнелій Тацыт (каля 55–120 гг. н.э.) у сваіх творах называлі славян венедзімі. Іх сціслыя характарыстыкі сведчаць аб тым, што славяне ўжо ў I ст. з'яўляліся асобнай цывілізацыйнай і этнічнай супольнасцю.

Пісьмовыя сведчанні Герадота, Плінія Старэйшага і Карнелія Тацыта з'яўляюцца фармальнай прыкметай адліку этнічнай і сацыяльнай гісторыі славянскіх народаў.

На шырокую гістарычную арэну славянскія народы найбольш актыўна пачалі выходзіць у VI ст. З гэтага часу яны ўсё часцей фігуруюць у шматлікіх пісьмовых крыніцах.

Гоцкі гісторык VI ст. Іардан у сваёй працы «Аб паходжанні і дзеяннях гетаў», датаванай 551 г., часта згадваў усходніх славян. Ён называў іх «склавенамі», «венетамі» і «антамі», адзначаючы іх этнічную блізкасць і агульныя карані. Іардан паведаміў пра правадыра антаў Божа і яго сыноў, што загінулі разам з 70 старэйшынамі падчас бітвы з готамі, якімі кіраваў Вінітарый.

Візантыйскія і арабскія вандроўнікі і гісторыкі з VI ст. таксама дастаткова многа паведамлялі аб звычаях і нормах славян. Так, пра іх шырока і грунтоўна пісалі такія старажытныя аўтары, як Пракоп Кесарыйскі, Менандр Пратэктар, Іаан Эфескі, Маўрыкій, Феафілакт Сімаката, Феафан, Нікіфар і Міхаіл Сірыец. Даўнія пісьмовыя крыніцы ўтрымліваюць звесткі пра ўдзел славянскіх атрадаў у паходзе імператара Юстыніяна II супраць арабаў у 692 г. Дакладна вядома, што ўжо з VII ст. асобныя славянскія народы мелі протадзяржаўныя ўтварэнні.

Унікальныя звесткі аб палітычным і сацыяльным жыцці славян захаваліся ў германскіх лацінамоўных хроніках. З X ст. дайшла «Хроніка» Цітмара Мерзебургскага, у якой расказваецца пра германа-славянскія дачыненні. Важнай пісьмовай крыніцай па гісторыі славян з'яўляецца твор Адама Брэменскага «Дзеянні архіепіскапаў Гамбургскай царквы», які быў створаны ў XI ст. Аўтар паведамляе пра ўплывовыя заходнеславянскія дзяржавы, дэталёва апісвае язычніцкае свяцілішча славянскага бога Сварога.

Археалагічныя знаходкі сведчаць аб тым, што славяне вельмі рана асвоілі складаныя тэхналогіі выплаўкі і апрацоўкі жалеза. Яны навучыліся вырабляць з яго прылады працы і зброю, што забяспечыла іх сацыяльнае першынства і дало

значныя перавагі перад іншымі этнічнымі супольнасцямі.

Менавіта на Беларусі існавала шмат даступных радовішчаў балотнай руды, з якой майстры-металургі пры высокіх тэмпературах выплаўлялі жалеза. Да нашага часу захаваліся дзясяткі старадаўніх мястэчак з назвай Рудня, якія красамоўна сведчыць пра тое, што ў даўнія часы там знаходзіліся месцы здабычы сыравіны і вытворчасці жалеза. Дзякуючы тэхналагічнаму лідарству кемлівыя славяне з часам занялі велізарныя абшары Еўрапейскай раўніны і Дунайскія нізіны.

У выніку паспяховага вядзення гаспадаркі і спрыяльных абставін славяне шчытна засялілі Усходнюю Еўропу і Балканскі паўвостраў. На працягу наступных стагоддзяў назіралася імклівае развіццё і пашырэнне славянскай цывілізацыі, яна хутка сталела і разгаліноўвалася.

Славяне абжыліся ўздоўж паўнаводных рэк і брыстых рачулак, каля жыццядайных азёр і крыніц. Яны паспяхова рассяліліся ў басейнах буйных еўрапейскіх рэк – Эльбы, Одры і Віслы. Славянскія плямёны аселі па берагах Днястра і Паўднёвага Буга, вакол возера Ільмень і ў вярхоўі Волгі. Многія славянскія народы, як, напрыклад, люцічы, бодрычы, вільцы, паморы і руяне, абжылі ўзбярэжжа Балтыйскага мора.

Тэрыторыя рассялення славян супадае з арэалам распаўсюджання культуры штрыхаванай керамікі. Яна пачалася з канца III тысячагоддзя да н.э. і атрымала сваю назву ад арнаменту на гліняным посудзе, яркія ўзоры якога адшуканы на археалагічных помніках Моталя, Уладычына, Вострава, Цярэбіна. Сярод прылад працы знойдзены шліфаваныя крамянёвыя сякеры-кліны, сярпы і матыкі.

Да ліку ўласна славянскіх і протабеларускіх археалагічных культур належыць шэраг стаянак банцараўскай, мілаградскай, калочынскай і пражскай культур, а таксама некаторыя паселішчы культуры доўгіх курганоў (VIII–X стст.). Падчас раскопак у іх знойдзены жалезныя прылады працы: сякеры і сярпы, нажы і наканечнікі дзідаў.

Галоўным помнікам банцараўскай культуры з'яўляецца гарадзішча Банцараўшчына, размешчанае на левым беразе ракі Свіслачы. Ніжні культурны слой гарадка датуецца III ст. да н.э., што даказвае яго існаванне ўжо ў антычныя часы. На гэтым месцы знойдзены рэшткі кос, сярпоў і нажоў, а таксама розныя ляпныя вырабы з гліны. Банцараўшчына з даўніх часоў служыла кропкай перавалу тавараў на гандлёвым калідоры з Віліі і Ушы ў Свіслач, якія затым траплялі ў Бярэзіну і Дняпро. Перавал, або перакуль, тавараў з воднага басейна

Нёмана ў басейн Дняпра прыносіў добрыя прыбыткі жыхарам гарадка, а таксама з'яўляўся важнай крыніцай яго росквіту.

Мілаградская культура існавала ў VII–I стст. да н.э. Яна названа паводле эталоннага паселішча Мілаград, што знаходзіцца ў Рэчыцкім раёне Гомельскай вобласці. У пахавальных абрадах мілаградцаў пераважала крэмацыя. Яны займаліся жывёлагадоўляй і практыкавалі падсечнае земляробства.

Помнікі калочынскай культуры адшуканы ў ніжнім цячэнні Бярэзіны і ля вусця Пцічы. Назва культуры паходзіць ад эталоннага паселішча, якое знаходзілася каля вёскі Калочын Рэчыцкага раёна. Калочынская культура існавала ў IV–VII стст. Яна таксама мела распаўсюджанне ў басейне ракі Дзясны.

Найбольш старажытныя помнікі пражскай культуры (V–VII стст.) адшуканы на Палессі, каля вёсак Хорск і Хотамель, якія знаходзяцца на рацэ Гарыні. Прадстаўнікі гэтай культуры займаліся земляробствам і жывёлагадоўляй. Сярод збожжавых культур, якія яны вырошчвалі, пераважалі пшаніца, авёс і ячмень. Гадавалі буйную рагатую жывёлу, а таксама свіней, авечак і курэй.

Як бачна, зусім не выпадкова рэгіён Беларускага Палесся лічыцца прарадзімай, калыскай славянскіх народаў. Ён з'яўляецца тым прыдатным месцам, дзе ў далёкія часы ўзнікла і расквітнела славянская цывілізацыя. З Беларускага Палесся пачалося інтэнсіўнае рассяленне славян, хуткае асваенне імі вялікіх абшараў Цэнтральнай і Усходняй Еўропы. Славянскія народы імкліва асвойвалі свабодныя землі, уладкоўвалі і абжывалі іх. У асобных кутках адбывалася славянізацыя кельтаў, балтаў і фіна-уграў. Славяне выразна ўсведамлялі сваю этнічную тоеснасць і духоўна-культурнае адзінства, што знайшло адлюстраванне ў мове, шматлікіх помніках агульнаславянскай гісторыі і культуры.

Славянская моўная група ўключае тры вялікія падгрупы: усходнеславянскую (беларуская, руская, украінская); заходнеславянскую (польская, кашубская, чэшская, славацкая, палабская (мёртвая), верхня- і ніжнялужыцкая) і паўднёvasлавянскую (балгарская, македонская, сербская, харвацкая, славенская, стараславянская (мёртвая) мовы).

У духоўна-культурным жыцці продкаў беларусаў адбыліся істотныя змены. Сфармавалася праславянская мова, якая кансалідавала ўсіх славян і ўплывала на іх менталітэт. У беларускай мове актыўна функцыянуюць каля дзвюх тысяч слоў, якія маюць агульнаславянскае паходжанне, напрыклад: галава, вока, вуха, рука, нага, нос, рот, зуб, вялікі, малы, добры, дрэнны, новы, стары, ісці, ляжаць, сядзець,

бачыць, чуць, поле, неба, зямля, рака, вецер, дождж, клён, ліпа, лось, змяя, камар, муха, сын, дачка, маці, бацька, дом, вада, піць, спаць, бачыць, чуць. Акурат яны сведчаць аб тым, што беларускую мову можна лічыць пратамовай славянскіх народаў, у якой найбольш поўна захаваліся архаічныя лексічныя пласты.

У часы агульнаславянскага адзінства ўзніклі і пашырыліся яркія шэдэўры фальклору, былі ствараны новыя замовы і песні, чарадзейныя казкі і казкі пра жывёл, міфы, легенды і паданні. З'явіліся музычныя інструменты – гуслі і дудкі. У творах узніклі тэмы Маці-Зямлі і роднага краю, вобраз каня з крыламі.

Аформіліся маляўнічыя вясельныя абрады, а таксама захапляльныя рытуалы, звязаныя з земляробчым календаром. Замацаваліся пахавальныя звычкі і традыцыі развітання з нябожчыкамі.

Людзі нязменна імкнуліся вытлумачваць з'явы навакольнага свету, паходжанне і ўласцівасці шматлікіх прадметаў і рэчаў. Продкі беларусаў спрабавалі адказаць на складаныя пытанні: чаму дзень змяняецца на ноч, святло на цемру, з якой прычыны адбываюцца змены пораў года. Гэтыя адказы нярэдка мелі фантастычную афарбоўку і дзівосныя тлумачэнні.

Зарадзіўся рэфлексіўны тып мыслення, неспатольная прага людзей даведацца пра ўласнае паходжанне і высветліць прызначэнне чалавека на Зямлі. Узніклі ўяўленні пра беднасць і багацце, законы і права. Сфарміравалася этыка і мадэль сацыяльных паводзін. У гарамадстве культывавалася паважлівае стаўленне да дарослых і бацькоў, віталіся ўзаемадапамога і талакоўства. Ухваляліся гасціннасць і сяброўства, працавітасць і сумленнасць, шанаванне блізкіх і суседзяў.

Пачатак этнічнай гісторыі

Продкі сучасных беларусаў спрадвеку жылі ў басейнах буйных рэк: Дняпра і Прыпяці, Дзвіны і Нёмана, Бярэзіны і Друці, Дзясны і Сожа, Віліі і Улы, Проні і Віхры. Яны таксама ахвотна займалі тэрыторыі вакол празрыстых азёр – Нарачы, Свіры, Дрывятаў, Свіцязі, Лісна, Ельна, Лепельскага, Лукомльскага, Асвейскага і іншых чыстых крыніц і вадаёмаў з прэснай вадой. Яны таксама сяліліся каля лясоў, дзе жылі ў дастатку і адчувалі сябе ў бяспецы.

Шчодрія лясныя і пушчы, рэкі і азёры, раскошныя лугі і ўрадлівыя палаткі з'яўляліся галоўнымі крыніцамі рэсурсаў для беларусаў. Берагі рэк, азёр і крыніц сапраўды былі райскімі месцамі, надзвычай утульнымі і камфортнымі для жыцця. Рэкі не

толькі давалі чыстую прэсную ваду і рыбу, але таксама з'яўляліся важнымі гандлёвымі шляхамі. Дзякуючы ім адбывалася шматузроўневае ўзаемадзеянне з блізкімі і далёкімі суседзямі.

Беларуская зямля мела выключныя перавагі дзякуючы геаграфічнаму размяшчэнню. Якраз па Менскім узвышшы праходзіў вялікі водападзел паміж Балтыйскім і Чорным морамі, што спрыяла развіццю шырокіх гандлёвых сувязей. З антычных часоў гандляры з Балтыйскага ўзбярэжжа і Скандынавіі, якія імкнуліся з іх таварамі ў прычарнаморскія і міжземнаморскія гарады, абіралі найбольш кароткія рачныя маршруты па Нёмане і Дзвіне, а затым – па Дняпры. Гэты найбуйнейшы гандлёвы шлях атрымаў летапіснае найменне «з варагаў у грэкі».

Некалькі важных гандлёвых калідораў, або волакаў, старанна ўладкаваных і дагледжаных, знаходзіліся якраз на беларускай зямлі. Рэчка Іслач, Уса і Сула цяклі ад Святой гары, што на Меншчыне, і ўпадалі ў Нёман. Рэчка Піціц цякла на поўдзень у Прыпяць, а затым – у Дняпро. Якраз паміж імі быў наладжаны перакуль тавараў, кантроль над якім арганізоўваўся і ажыццяўляўся са Старога Менска.

Яшчэ некалькі рэчак ад Святой гары цяклі ў заходнім напрамку, упадаючы ў Нёман. Заходняя Бярэзіна злучала з ім сваю плынь з правага боку. Рэчка Уша спачатку ўпадала ў Вілію, а затым – у Нёман. У той жа час з паўднёвага боку ад Святой гары пачыналася Свіслач і накіроўвалася на паўднёвы ўсход, упадаючы ў Бярэзіну, а праз яе і ў Дняпро. Паміж імі продкі беларусаў гэтаксама наладзілі гандлёвыя волакі, якія праходзілі паблізу Банцараўшчыны, а пазней – Гарадка на Вячы і Заслаўя.

Важны гандлёвы калідор знаходзіўся паміж рэчкамі Іліяй, якая цячэ ў Вілію, а затым трапляе ў Нёман, і Гайнай, якая ўпадае ў Бярэзіну, а пасля разам з ёю ў Дняпро. Насельнікі Старога гарадзішча і Новага гарадзішча, якія размешчаны на захад ад сучаснага Лагойска, забяспечвалі перакуль тавараў з Іліі ў Гайну. Гэтыя старадаўнія гарадкі, відавочна, служылі бяспечным месцам адпачынку для замежных гасцей.

Невялікі гандлёвы калідор, па ўсім відаць, існаваў паміж вярхоўем Віліі і рэчкай Поняй, якая прама ўпадае ў Бярэзіну. Са старадаўніх мястэчак з характэрнымі назвамі Пагост і Ізбішча, верагодна, і ажыццяўляўся сухапутны перакуль тавараў.

Прадпрымальныя беларусы наладзілі яшчэ два буйныя волакі з Дзвіны ў Дняпро. Першы знаходзіўся непадалёк ад Оршы, паміж рэчкамі Аршыцай і Лучосай. А другі – каля Гнёздава, што на Смаленшчыне.

З антычных часоў продкі беларусаў выкарыстоўвалі гандлёвы калідор паміж ракой Россю, якая ўпадае ў Нёман з левага боку, і ракой Ясельдай – левым прытокам Прыпяці. Жыхары старадаўняга Ваўкавыска, які вырас на беразе Росі, арганізавалі і ажыццяўлялі перавал тавараў у адзін і другі бакі. Гарадок службы бяспечным месцам адпачынку для гасцей.

Верагодна, існаваў таксама падобны перавал з ракі Шчары ў рэчкі Бобрык і Цну, якія ўпадалі ў Прыпяць з левага боку. Ганцавічы якраз маглі служыць крэпасцю, з якой гарантавалася бяспека сухапутнага гандлёвага шляху.

Археалагічныя знаходкі сведчаць аб тым, што нашы далёкія прашчुरы стварылі магчымасць перапраўляць тавары з ракі Ясельды ў раку Нараў, якая ўпадала ў Заходні Буг, а затым у Віслу. Гэтаксама перакуль тавараў ажыццяўляўся наўпрост з вярхоўя Прыпяці ў Заходні Буг.

Прыкладна ў I ст. з’яўляецца адметнае беларускае слова, адбываецца актыўнае фарміраванне беларускіх народных гаворак і гальванізуюцца этнаўтваральныя працэсы. У даўнія часы з’явілася спрадвечнабеларуская лексіка, адметныя словы, якіх няма ў іншых славянскіх мовах, напрыклад: абрус, амаль, лазня, туляцца.

У беларускай мове ўзніклі спецыфічныя рысы, якія адрознівалі яе ад іншых славянскіх моў. Так, у ёй выкарыстоўваліся афрыкаты (злітныя гукі) – [дз’, дз, дж] – дзень, гляджу. У шэрагу слоў пачалі ўжывацца прыстаўныя галосныя: ільняны, аржаны, іржавы, імгла. Пры вымаўленні слоў у беларускай мове назіраліся аканне і яканне, падоўжаныя і падвоеныя зычныя. Паступова складалася ўласная стылістыка і граматыка, нараджалася адметная лексіка, афармляўся гукавы лад мовы, або фанетычная сістэма, якая эвалюцыянавала і развівалася.

Ад моманту ўзнікнення беларуская мова пачынае актыўна выяўляць стваральную творчую энергію, лучыць людзей. Адбываецца актыўнае фарміраванне нацыянальных кодаў, сэнсаў і сімвалаў, якія збліжаюць і надзвычай трывала з’ядноўваюць народ у адзіную супольнасць, падкрэсліваючы блізкасць і роднаскасць.

Ужо ў антычныя часы з’явіліся неацэнныя творы нацыянальнай міфалогіі і фальклору: рытэтычныя замовы, плачы-галашэнні па памерлых, асобныя казкі, архаічныя паданні і легенды, сямейнаабрадавыя і каляндарна-абрадавыя спевы. Менавіта яны аказвалі моцнае ўздзеянне на светапогляднае і духоўнае адзінства грамадства.

Такім чынам, пачынае зараджацца беларускі этнас – сацыяльны феномен, які мае кагнітыўную

прыроду, характарызуецца моўнай і культурнай адметнасцю, а таксама ўсведамленнем людзьмі тоеснасці і агульнасці, прыналежнасці да адзінай супольнасці.

Важнымі кропкамі ўзнікнення і станаўлення беларускай народнасці з’яўляліся старажытныя паселішчы: Тураў і Мазыр, Браслаў і Гародня, Гомель і Орша, Віцебск і Полацк, Менск і Заслаўе, Банцараўшчына і Свіслач.

Па ўсім відаць, у вельмі глыбокай старажытнасці продкі беларусаў цесна ўзаемадзейнічалі з фіна-ўгорскімі плямёнамі, праявы чаго адбіліся ў беларускай тапаніміцы. Прынамсі, некаторыя назвы беларускіх рэк і вадаёмаў маюць аналагі на тэрыторыях, дзе калісьці стала жылі фіна-ўгорскія плямёны. Верагодна, фіна-ўгорскае паходжанне маюць гідронімы Дзвіна і Свір.

Як дакладна вядома з летапісных крыніц, пазней беларусы працяглы час кантактавалі з лівамі, чуддзю і мерай. Вынікі гэтага ўзаемадзеяння гэтаксама знайшлі адлюстраванне ў нацыянальнай мове і культуры, у народным мастацтве.

Суседзямі беларусаў на поўдні і ўсходзе доўгі час з’яўляліся скіфы (VIII ст. да н.э. – IV ст. н.э.) – буйная культурна-гістарычная супольнасць, якая складалася з многіх этнасаў і плямёнаў еўрапеоіднай расы. Прападзіма скіфаў – Азія, на што ўказваў яшчэ Герадот. Іхнія плямёны пачалі свой рух на захад з Мінусійскай упадзіны, дзе з даўніх часоў існавалі найбольш спрыяльныя кліматычныя ўмовы для жыцця і гаспадарчай дзейнасці.

На працягу стагоддзяў скіфы засялялі велізарныя стэпавыя і лесастэпавыя абшары, пачынаючы ад Алтая, Саян і Енісея. Яны гэтаксама займалі тэрыторыі ад Дона да Дуная і стварылі высокую цывілізацыю, для якой характэрны курганныя культура, шэраг асаблівасцей халоднай зброі (напрыклад, кароткі меч «акінак» і невялікі лук з кароткімі стрэламі), а таксама вытанчаны звярыны стыль у мастацтве. Скіфы і іх пераемнікі сарматы, без сумневу, шчытна кантактавалі са славянамі, аказвалі значны ўплыў на іх лад жыцця і культуру.

Продкі беларусаў зазналі ўздзеянне готаў (II–VIII стст.) – германскага племені, якое прыйшло са Скандынаўскага паўвострава і заняло тэрыторыі ўздоўж Віслы і Паўночнага Прычарнамор’я. Яны мелі ўласнае рунічнае пісьменства, узоры якога захаваліся да нашага часу, на высокім узроўні валодалі вайсковым майстэрствам. Як вынік – у 410 г. кароль готаў Аларых I (каля 370–410) разбурыў Рым. У працяглых гоцка-рымскіх войнах бралі ўдзел ваяры са славянскіх і ўласна беларускіх зямель. Іх атрадамі масава

папаўнялася войска гоцкага караля Тэадорыха (каля 451–526). Менавіта ад готаў у славянскія мовы патрапілі словы «хлеб», «кацёл», «купіць».

У II–V стст. усходнеславянскія народы сутыкнуліся з гунамі – супольнасцю плямёнаў, якія прыйшлі са стэпаў Усходняй Еўропы. Найвялікшай магутнасці яны дасягнулі ў часы Атылы (434–453), які разграміў армію бургундаў на Рэйне ў 435 г., а пасля кінуў выклік магутнай Рымскай імперыі. Славянскія атрады актыўна ўдзельнічалі ў гунскім войску, якое пагражала Канстанцінопалю. Шэраг славянскіх плямёнаў уваходзілі ў склад дзяржавы Атылы. Гуны паспрыялі вызваленню славян ад германа-гоцкага панавання і скіфа-іранскіх уплываў. У сваю чаргу ад продкаў беларусаў яны перанялі звычай спраўляць трызну («страву») на магілах памерлых, аб чым паведамляў старажытны гісторык Іардан.

Такім чынам, беларуская народнасць фармавалася з антычных часоў як адна з буйных усходнеславянскіх этнакультурных груп. Яна зазнала ўздзеянне фіна-уграў, скіфаў, готаў і гунаў, а затым сінтэзавала субкультуры іншых славянскіх плямёнаў. У антрапалогіі, мове і культуры беларусаў пераважалі індаеўрапейскія карані і агульнаславянскія элементы.

Актыўнае станаўленне беларускага этнасу пачалося прыкладна з I ст. У вуснай мове даволі выразна акрэсліліся ўласна беларускія рысы, на ёй пачалі ажыццяўляцца інтэнсіўная камунікацыя і творчыя інтэнцыі. У глыбокай старажытнасці нарадзіліся яркія шэдэўры вусна-паэтычнай творчасці. Асобныя з іх з’яўляюцца арганічнай часткай пракаветных абрадаў, рытуалаў і культар.

Менавіта адметная беларуская мова, фальклор і традыцыйныя святы істотна паўплывалі на менталітэт грамадства, прадвызначылі яго духоўна-культурнае жыццё, сталі стрыжнем беларускай народнасці. ■

СПІС ВЫКАРЫСТАНЫХ КРЫНІЦ

- Акунов В.В. Готы. – М., 2018.
- Алексеев В.П. Становление человечества. – М., 1984.
- Алексеев В.П., Першиц А.И. История первобытного общества. – 4-е изд. – М., 1990.
- Бирнбаум Х. Праславянский язык. Достижения и проблемы его реконструкции, пер. с англ. – М., 1987.
- Бурлак С.А., Старостин С.А. Сравнительно-историческое языкознание. – М., 2005.
- Выгонная Л.Ц. Фанетыка роднага слова: выбраныя працы / Л.Ц. Выгонная; уклад.: В.П. Русак [і інш.]. – Мінск, 2023.
- Геродот. История в 9 кн.: в 2 т. / пер., предисл. и указатель Ф.Г. Мищенко. – Изд. 2-е, испр., доб. в предисл. и снабженное картами. – М., 1888.
- Геродотова Скифия: историко-географический анализ / отв. ред. Д.Б. Шелов. – М., 1979.
- Гильфердинг А.Ф. О родстве языка славянского с санскритским. – СПб., 1853.
- Гринин Л.Е. Производительные силы и исторический процесс. – 3-е изд., стер. – М., 2006.
- Гурина Н.Н. Древняя история Северо-Запада Европейской части СССР / Н.Н. Гурина. – М.; Л., 1961.
- Иванов В.В. Славянские языковые моделирующие семиотические системы (древний период) / В.В. Иванов, В.Н. Топоров. – М., 1965.
- Иванов В.В., Гамкрелидзе Т.В. Индоевропейский язык и индоевропейцы. Реконструкция и историко-типологический анализ праязыка и протокультуры (в 2 т.). – Тбилиси, 1984.
- Иордан. О происхождении и деяниях гетов: Getica / Иордан. – М., 1960.
- Крапивнер Р.Б. Кризис ледниковой теории: аргументы и факты. – М., 2018.
- Ловмянский Г. Религия славян и ее упадок. – СПб., 2003.
- Макушников О.А. Колочинская культура в Гомельском Поднепровье и сменяющие ее памятники VIII–IX вв. // Краткие сообщения Института археологии. 2014. №235. С. 363–380.
- Митрофанов А.Г. Банцеровское городище / А. Г. Митрофанов // Белорусские древности. Докл. к конф. по археологии Беларуси (январь – фев. 1968). – Минск, 1968. С. 243–261.
- Мызников С.А. Лексика финно-угорского происхождения в русских говорах Северо-Запада: Этимологический и лингвогеографический анализ. – СПб., 2004.
- Норман Б.Ю. Теория языка. Вводный курс. 3-е изд. – М., 2009.
- Пропп В.Я. Исторические корни волшебной сказки. – Л., 1946, 1986.
- Робертс Эллис. Происхождение человека. Эволюция / пер. с англ. И.В. Павловой, О.В. Сергеевой. – М., 2014.
- Седов В.В. Восточные славяне в VI–XIII вв. / В.В. Седов; отв. ред. тома Б.А. Рыбаков. – М., 1982.
- Седов В.В. Происхождение и ранняя история славян / В.В. Седов. – М., 1979.
- Симокатта Ф. История / Феофилакт Симокатта / Акад. наук. СССР, Ин-т истории, Ин-т славяноведения; отв. ред. Н.В. Пигулевская; вступ. ст. Н.В. Пигулевской; пер. С.П. Кондратьева; примеч. К. А. Осиповой. – М., 1957.
- Толстой Н.И. Очерки славянского язычества. – М., 2003. Традиционная духовная культура славян / Современные исследования.
- Традыцыйны светлагляд беларусаў. У 5 кн. Кн. 1. Касмалогія. Народная тэалогія / уклад. і агул. рэд.: І.М. Дубянецкая, С.І. Санько. – Мінск, 2023.
- Традыцыйны светлагляд беларусаў. У 5 кн. Кн. 2. Сфера сакральнага. Народная тэалогія / уклад. і агул. рэд.: І.М. Дубянецкая, С.І. Санько. – Мінск, 2023.
- Традыцыйны светлагляд беларусаў. У 5 кн. Кн. 4. Грамадства / уклад. і агул. рэд.: І.М. Дубянецкая, С.І. Санько. – Мінск, 2025.
- Трубачев О.Н. Этногенез и культура древнейших славян. – 2-е изд. – М., 2003.
- Массон В.М. Возникновение и развитие земледелия / АН СССР. ИА. – М., 1967.
- Мейе А. Общеславянский язык / пер. с франц. – М., 1951.
- Мейе А. Введение в сравнительное изучение индоевропейских языков. 4-е изд. – М., 2007.
- Уайт Эдмунд, Браун Дейл М. Первые люди / пер. с англ. И.Г. Гуровой. – М., 1978.
- Филин Ф.П. Происхождение русского, украинского и белорусского языков: Историко-диалектологический очерк. – Л., 1972.
- Штыхов Г.В. Об этнической интерпретации банцеровской культуры / Г.В. Штыхов // Насельніцтва Беларусі і сумежных тэрыторый у эпоху жалеза. – Мінск, 1992.
- Этнаграфія беларусаў: гістарыяграфія, этнагенез, этнічная гісторыя / рэдкал.: В.К. Бандарчык, В.І. Мясешка, М.Ф. Піліпенка. – Мінск, 1985.
- Этнаграфія восточных славян: очерки традиционной культуры / отв. ред. К.В. Чистов. – М., 1987.
- Этнология: учеб. для высших учеб. заведений / под ред. Г.Е. Маркова и В.В. Пименова. – М., 1994.
- Beekes R.S.P. Comparative Indo-European linguistics. – Amsterdam; Philadelphia, 1995.
- Fitch W. Tecumseh. The Evolution of Language. – New York, 2010.



Паўвостраў паміж воз. Дзерба і воз. Недрава. Выгляд з пайднёвага ўсходу. Аэрафотаздымак Сяргея Плыткевіча

Невядомы падводны аб'ект на Браслаўшчыне: даследчыя праблемы і перспектывы вывучэння



Алег Дзярновіч,
вядучы навуковы супрацоўнік
аддзела гісторыі Беларусі
IX–XVIII стст. і археаграфіі
Інстытута гісторыі НАН Беларусі,
кандыдат гістарычных навук,
дацэнт



Андрэй Ліхачоў,
кіраўнік дайвінг-цэнтра
«Марскі пегас»

Гідраархеалогія (падводная археалогія) мае ў Беларусі даволі доўгую гісторыю: яе развіццё пачалося яшчэ напрыканцы 1970-х гг. Аднак, нягледзячы на істотны тэхнічны прагрэс і ўдасканаленне метадаў даследаванняў на працягу амаль паловы стагоддзя, гэтая сфера дзейнасці застаецца дапаможнай галіной і абслугоўвае традыцыйныя археалагічныя праекты.

Эфектыўнае даследаванне падводных аб'ектаў патрабуе прымянення сучасных методаў і прыцягнення высокакваліфікаваных спецыялістаў, дэфіцыт якіх у рэгіёне застаецца істотным. У сувязі з гэтым ключавую ролю набывае ўдзел падрыхтаваных дайвераў-баланцёраў, якія валодаюць неабходным досведам і сучасным абсталяваннем. Іх уклад становіцца фактычна неад'емным кампанентам любой падводна-археалагічнай экспедыцыі. Гэта практыка адпавядае прынцыпам канцэпцыі «грамадзянскай навукі» (Citizen Science), якая прадугледжвае прыцягненне непрафесійных удзельнікаў да навуковага пошуку. Паспяховай рэалізацыяй гэтага падыходу з'яўляецца пагадненне аб супрацоўніцтве паміж Інстытутам гісторыі НАН Беларусі і дайвінг-цэнтрам «Марскі пегас», складзенае ў галіне развіцця падводнай археалогіі. У межах гэтага супрацоўніцтва быў ажыццёўлены шэраг важных падводных даследаванняў.

У чэрвені 2023 г. было праведзена дэталёвае вывучэнне падводнай драўлянай канструкцыі ў воз. Дзерба побач з помнікам археалогіі «гарадзішча Маскавічы» (раён в. Маскавічы Слабодкаўскага с/с Браслаўскага р-на Віцебскай вобл.). Згаданы аб'ект быў выяўлены падчас абследавання акваторыі возера ўдзельнікамі дайвінг-клуба «Марскі пегас» у рамках даследчай праграмы Рэспубліканскай лабараторыі гісторыка-культурнай спадчыны Цэнтра даследаванняў беларускай культуры, мовы і літаратуры НАН Беларусі. Падводныя навуковыя работы ажыццяўляліся ў супрацоўніцтве з Інстыту-

там гісторыі НАН Беларусі. Лакалізацыя канструкцыі, характарыстыкі яе памераў і марфалагічныя асаблівасці ініцыявалі шэраг дыскусій адносна яе функцыянальнага прызначэння.

Была пастаўлена задача ўзняць на паверхню драўляны элемент знаходкі з мэтай вызначэння яе храналагічнай прыналежнасці. Праца стала нагодаю яшчэ раз абмеркаваць гістарычнае мінулае мікрарэгіёна Маскавічы, выкарыстаць новыя метадыкі падводных даследаванняў і правесці дадатковыя архіўныя пошукі.

Гарадзішча Маскавічы

Месца, пра ваколіцы якога пойдзе гаворка, было ўпершыню апісанае ў канцы XIX ст. захавальнікам Віленскага музея старажытнасцей Фёдарам Пакроўскім [1].

Маскавіцкае гарадзішча займае пляцоўку плошчай 1 га. Гэта марэнны ўзгорак вышыняй 18 м. З паўночнага і ўсходняга бакоў да яго падступае балоцістая нізіна, з паўднёвага – павольны схіл, з заходняга – рэзкі абрыў да возера Дзерба.

Магутнасць культурнага пласта ў дадзенай лакацыі вагаецца ад 0,2 да 0,6 м, а на заходняй тэрасе, ля берага возера, месцамі дасягае 1,2 м. На ўсёй пляцоўцы ў выніку ворыва культурны слой перамешаны да мацерыка і ў некранутым стане захаваўся толькі ў запаўненні мацерыковых ямаў. Гарадзішча адносіцца да помніка культуры штрыхаванай керамікі і позняга этапу днепра-дзвінскай культуры. Асноўны культурны пласт ўтварыўся ў XI–XIII стст. – перыяд функцыянавання аб'екта як парубежнага замку Полацкай зямлі і ранняга этапу гісторыі ВКЛ [2].

У этнічным плане тагачаснае тутэйшае насельніцтва ўяўляла сабой кангламерат. Мяркуючы па этнавызначальных жаночых упрыгажэннях (скроневых кольцах, падвесках, фібулах, бранзалетах і інш.), можна казаць пра пражыванне тут у XI–XIII стст. прадстаўнікоў мясцовых і навакольных плямёнаў і аб'яднанняў – крывічоў, латгалаў, земгалаў, ліваў, аўкштайтаў, выхадцаў з Вяціцкіх і Наўгародскіх зямель. Шэраг упрыгажэнняў, у тым ліку раўнаплечная фібула, а таксама абломкі костак жывёл з нанесенымі на іх рунічнымі знакамі, сведчаць аб прысутнасці скандынаваў ці іх славянізаваных нашчадкаў [3].

Гарадзішча ў Маскавічах мае статус гісторыка-культурнай каштоўнасці (шыфр 213В000204; катэгорыя – аб'екты рэгіянальнага значэння, матэрыяльныя нерухомыя каштоўнасці).

Першыя гідраархеалагічныя даследаванні

Яшчэ ў першыя гады правядзення даследаванняў на Маскавіцкім гарадзішчы было адзначана, што з воз. Дзерба на бераг вымываюцца артэфакты XI–XIII стст. [4]. Першыя гідраархеалагічныя разведкі былі праведзены ў 1979 і 1981 гг. [5] пры дапамозе мінскіх аквалангістаў-аматараў («Клуб 407», кіраўнік Макаюк). У 1981 г. пры абследаванні акваторыі возера на дне ўдалося выявіць каменную выбрукоўку. Стала зразумелым, што частка паселішча апынулася пад вадою яшчэ ў старажытнасці – верагодна, у познім Сярэднявеччы, калі фіксуецца падвышэнне ўзроўню сусветнага акіяну [6]. Спробы абследаваць акваторыю з дапамогаю эхалота «Язь» не далі

вынікаў, бо моцна замінала падводная расліннасць.

У 1982 г. пры Дзяржаўным музеі БССР была створана Экспедыцыя падводных гісторыка-археалагічных даследаванняў (ЭПГАД), якую на чале з Сяргеем Сіманюковым на працягу 1982 і 1983 гг. у акваторыі возера Неспіш, што прымыкае да гарадзішча, праводзіліся гідраархеалагічныя даследаванні і падводныя раскопкі. У 1985 г. працы тут працягнуліся пры дапамозе ақвалангістаў завода «Авіярэмонт», у 1987 і 1988 гг. іх прадоўжыла група ақвалангістаў Мінскага дзяржаўнага педагогічнага інстытута пад кіраўніцтвам Сяргея Каблова.

Ақвалангістамі падчас візуальнага абследавання дна вадаёма было выяўлена, што па ўсёй прылеглай да берага акваторыі на пясчаных водмелях сустракаюцца фрагменты керамікі, косткі жывёл, кавалкі глінянай абмазкі і вуголле. На адлегласці 20–30 м ад берага былі закладзены 4 шурфы памерам 1×1 м, а ў 10 м – падводны раскоп плошчай 60 кв. м [4]. У адным з шурфоў пад слоём сапрапелю зафіксаваны слой вуголля таўшчынёй 0,1 м. Глыбіня вады ў месцах даследаванняў у летні час вагаецца паміж 2 і 3 м.

У культурным пласце 0,2–0,3 м былі знойдзены цыліндрычны замok, шыфернае прасліца, фрагмент сіняга шклянoгa пярсцёнka, медная бляшня, кераміка і інш. Гэта дае падставу меркаваць пра існаванне на гэтым месцы пасада гарадзішча, які з цягам часу апынуўся пад вадой.

Методыка гідраархеалагічных работ выглядала наступным чынам: ақвалангісты забяспечвалі падачу ў вёдрах гідракультурнага пласту ў гумовую лодку і транспартавалі яе на бераг. Там на рэшатах з нержавейнай сталі

з памерам ячэек 5×5 мм праводзілася прамыўка і пераборка ўзнятага пласту [7].

Дадзеную методыку работы вадалазаў апісаў Сяргей Сіманюкоў, які ўзначаліў Экспедыцыю падводных гісторыка-археалагічных даследаванняў воз. Дзерба ў 1982–1983 гг. Пагружэнне выглядала наступным чынам: вадалаз апускаўся на дно пры дапамозе дадатковай вагі грузаў і вадалазных ботаў. Там ён здымаў пласт грунта сапёрнай рыдлёўкай, загружаючы яго ў вядро; напоўненае грунтам вядро ўздымалася на лодку, а адтуль, адпаведна, спускалася пустое. Вадалазу прыходзілася працаваць практычна навобмацак, таму асобных знаходак ён не бачыў пад тоўшчаю вады [8].

Апроч таго, у раёне гарадзішча Маскавічы праводзіліся геафізічныя даследаванні, вынікам чаго стала складанне карты ўчастка воз. Дзерба з выяўленымі анамаліямі [9].

Такім чынам, гідраархеалагічныя працы каля Маскавіцкага гарадзішча праводзіліся на працягу 7 палявых сезонаў. Як адзначае кіраўніца археалагічных даследаванняў Л. Дучыц, «на жаль, гэта былі толькі пробныя эпізадычныя аматарскія работы з дапамогаю розных груп ақвалангістаў-энтузіястаў» [10]. У выніку немагчыма было ўзгадніць дзеянні, і гэта зніжала каштоўнасць навуковай працы. Агульнай карты вынікаў работ скласці не ўдалося, тым больш што яны вяліся ў розныя месяцы, калі ўзровень вады быў розным. Але характар дна акваторыі, прылеглай да гарадзішча, і шматлікія знаходкі дазваляюць казаць пра перспектыўнасць намагаанняў не толькі ақвалангістаў, але і тапографаў, азёраведаў і іншых спецыялістаў.

Гідралагічны статус возера Дзерба

Уваходзячы ў сістэму Браслаўскіх азёраў, возера злучаецца ракой Друйка з Заходняй Дзвіной. Уласна Дзерба размешчана паміж азёрамі Неспіш і Недрава, па плыні з першага ў апошняе, з якім пры гэтым злучаецца вузкая пратока (мал. 1). У акваторыі возера маюцца выспы; яго назва актыўна выкарыстоўваецца мясцовым насельніцтвам і ў прывязцы да археалагічных помнікаў была зафіксавана Л. Дучыц [11]. Яна таксама пазначае, што Дзерба з'яўляецца затокаю воз. Неспіш [12], якое мае плошчу 4,57 кв. км, найбольшую глыбіню 6,3 м і даўжыню берагавой лініі 16,5 км.

Статус Дзербы як самастойнага гідралагічнага аб'екта аспрэчваецца. Вадаём прысутнічае на турыстычнай карце, распрацаванай РУП «Белгеадэзія» (па 7-е выданне ўключна). У той жа час, паводле супрацоўнікаў Нацыянальнага парку «Браслаўскія азёры», гэтыя карты не з'яўляюцца нарматыўна-прававым актам, і ў адпаведнасці з Дзяржаўным водным кадастрам на тэрыторыі Браслаўскага раёна не існуе вадаёма пад такой назвай [13]. Гэты дакумент – аснова ў галіне выкарыстання паверхневых вод Беларусі. На яго базе распрацоўваюцца ўсе заканадаўчыя дакументы, якія датычацца вадаёмаў, вадатокаў і рыбагаспадарчай дзейнасці. Па гэтай прычыне воз. Дзерба адсутнічае і ў пастанове Мінсельгасхарча ад 18.06.2014 г. №29 «Аб рэспубліканскай комплекснай схеме размяшчэння рыбалоўных угоддзяў», распараджэнні Прэзідэнта Рэспублікі Беларусь №156рп ад 03.06.2008 г. «Аб прадастаўленні паляўнічых



Мал. 1. Пратока паміж воз. Недрава і Дзерба. Участак правядзення даследаванняў



Мал. 2. Сітуацыйны план воз. Дзерба – акваторыі паміж воз. Неспіш і Недрава

і рыбабоўных угоддзяў» і ў іншых афіцыйных дакументах, у тым ліку і ў спісах азёр нацыянальнага парка, якія датычацца платнага і бясплатнага аматарскага рыбабоўства. Па даных Дзяржаўнага воднага кадастра, паміж азёрамі Неспіш і Недрава не існуе больш ніякіх азёр, у тым ліку і Дзербы. Граніца паміж двума згадымі вадаёмамі праходзіць па самым вузкім месцы пратоцы паміж паўастравамі Маскавічы і Русцягі. Між тым, зважаючы на мясцовую і гістарыяграфічную традыцыю, у гэтым артыкуле будзе выкарыстоўвацца пазначэнне «возера Дзерба» (з удакладненнем, што яго можна разглядаць як затоку возера Неспіш).

У выніку даследаванняў азёразнаўцаў выяўлена, што ўзровень вады ў дадзеным вадаёме значна павысіўся пасля правядзення ў 1930–1935 гг. меліярацыйных работ у даліне ракі Друікі і пасля пабудовы ў 1955 г. на гэтай рацэ Чэрневіцкай ГЭС [14].

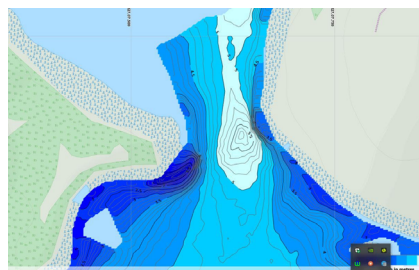
Донныя адклады тут прадстаўлены шчыльнай азёрнай глінай, гліністым глеем, заглееным пяском і сапрапелем з ракавінамі малюскаў [15].

Неапазнаная знаходка

Пасля выяўлення дайверамі невядомых драўляных канструкцый на дне воз. Дзерба былі

арганізаваны батыметрычныя даследаванні і праведзена сканаванне доннай паверхні з дапамогай усталяванага на маторнай лодцы эхалота-картплотэра Lowrance HDS-16 LIVE з датчыкам Active Imaging 3-y-1 (работы праводзіліся А. Ліхачовым). Батыметрычныя здымкі дазволілі пабудаваць мадэль рэльефу дна і глыбінь (мал. 2, 3), зафіксаваць візуальнае адлюстраванне аб'екта з геапрасторавай прывязкай і параметрамі інтрузіі ў донныя адклады.

Глыбіня дна пратоцы паміж азёрамі Дзерба і Недрава дасягае 5,5 м, каля ўсходняга берагу – да 3,5 м, бліз заходняга – да 2,5 м (мал. 4). Гідралакацыя дазволіла акрэсліць агульныя контуры невядомай драўлянай канструкцыі на дне вадаёма. Яна злучае абодва берагі пратоцы: на працягу ўсёй даўжыні гэта два шэрагі сіметрычна размешчаных паляў, бліжэй да ўсходняга берагу – яшчэ адзін. Усходняя частка канструкцыі найбольш зацягнута глеем.



Мал. 3. Батыметрыя пратоцы паміж воз. Недрава і Дзерба (выканана А. Ліхачовым)

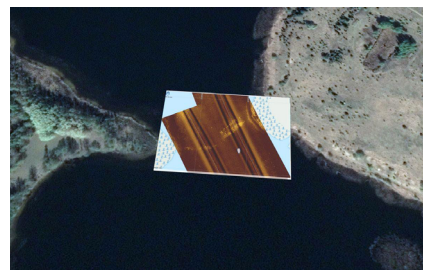
Экспедыцыя 2023 г.

Падчас правядзення падводных работ на возеры Дзерба ў чэрвені 2023 г. было паспяхова правярана ўдасканаленае абсталяванне, адпрацаваны метады яго выкарыстання і фіксацыі над аб'ектамі. Гэта дазволіла значна павысіць эфектыўнасць вынікаў, адначасова скараціўшы колькасць удзельнікаў і палегчыўшы іх працу.

Пры размыве палі (свай), абранай для дэндрааналізу, выкарыстоўваліся два метады:

- на пачатковым этапе на размыве ствала палі, які тырчаў з доннага грунту, праводзілася накіраваная струя з дапамогай брандспойта;
- затым быў ужыты эжэктар, які дазволіў адбіраць грунт вакол палі, ствараючы варонку і мінімізуючы ўскаламучванне на рабочым участку.

Для правядзення дэндрахраналагічнага даследавання было вырашана ўзяць адну з нахіленых паляў ва ўсходняй, найбольш разгалінаванай частцы канструкцыі. Глыбіня дна ў гэтым месцы пратоцы дасягае 5,5 м. На дне вакол палі быў распрацаваны падводны шурф. Удалося размыць поласць уздоўж палі да 4 м у глыбіню і да 1,5 м у шырыню, што дазволіла пра-



Мал. 4. Скан участка дна пратоцы паміж воз. Недрава і Дзерба. Накладанне атрыманага скана дна на спадарожніковы здымак

цаваць дайверу. Але паля апынулася даўжэйшая, чым меркавалася – даўжыня толькі размытай часткі ствала складала каля 7 м, але яна ішла ў грунт глыбей (па суб'ектыўнай ацэнцы – яшчэ на 1,5–2 м). З-за небяспекі абвалу было прынята рашэнне адпілаваць палю ў максімальна даступнай зоне (каля 3 м), дзе дрэва добра захавалася.

Працэс быў даволі працаёмкім і доўгім – дайверы па чарзе змянялі адзін аднаго. Кампрэсар, як і матапомпа, быў змантаваны на плаваючым плыце, што павысіла зручнасць і эфектыўнасць працы.

На момант правядзення работ былі зафіксаваны параметры вады: яна мела празрыстасць 2,5 м, тэмпературу на глыбіні 5 м 16° С; на дне адзначаўся заілены пласт таўшчынёй да 1,5 м.

Такім чынам, з dna воз. Дзерба была выцягнута адна з паляў для правядзення дэндрахраналагічнага аналізу. Ад яе ніжняй часткі, якая знаходзілася ў глеі і адпаведна не была пакрытая ракаўкамі, былі адпілаваныя два фрагменты даўжынёй 0,97 м (спіл №1) і 0,68 м (спіл №2) (мал. 5, 6). Дыяметр палі на спілах у сярэднім склаў 0,28 м. Узятыя фрагменты дзеля захаванасці былі абкручаныя цэлафанам, які затрымлівае выхад вільгаці, і ў далейшым падвергліся дэндрахраналагічнаму аналізу.

Апісанне падводнай канструкцыі

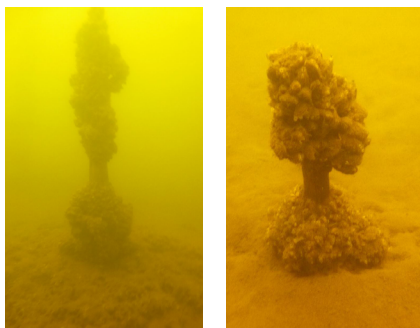
Выяўленая канструкцыя знаходзіцца ў пратоцы паміж воз. Недрава і воз. Дзерба шырынёй да 100–120 м. Плынь вады скіраваная з поўдня на поўнач, з боку азёр Неспіш і Дзерба ў воз. Недрава і далей праз р. Друйка ў Заходнюю Дзвіну.



Мал. 5. Прадоўжны жолаб ў ніжняй частцы палі



Мал. 6. Паля падводнай канструкцыі ў воз. Дзерба. Спіл №1 у ніжняй частцы



Мал. 7. Дно пратокі паміж азёрамі Дзерба і Недрава. Верхняя частка палі. Наросты ракушак. Падводныя здымкі Андрэя Ліхачова

На працягу ўсёй шырыні пратокі знаходзяцца 2 шэрагі сіметрычна размешчаных паляў. У цэнтральнай частцы канструкцыі фіксуецца разрыў, які інтэрпрэтуецца як магчымы праход для плаўсродкаў. Бліжэй да ўсходняга берага на дне ўтварыліся 3 ўзвышэнні ў выніку заглаивання абваленых паляў. Таксама ва ўсходняй частцы маецца яшчэ адзін шэраг паляў, які ідзе паралельна асноўнаму.

Існуюць 2 канструкцыйныя тыпы ўсталявання паляў – вер-

тыкальны і нахілены. Нахіленыя палі ўтвараюць кут 30° адносна гарызонту dna. У той частцы пратокі, дзе глыбіня dna дасягае 5,5 м, вертыкальныя палі выступаюць на 1,5 м над глеем, нахіленыя – на 0,3 м.

З улікам паглыблення паляў у донныя адклады на 5–6 м і больш агульная даўжыня канструкцыйных элементаў (з улікам глыбіні вадаёма) можа дасягаць 9–10 м. Асноўная частка паляў размешчана ў тоўшчы доннага ілу, у той час як верхнія секцыі, якія выступаюць над ілістым пластом, маюць значнае пакрыццё ракавіннымі наросцямі і характарызуюцца скрайняй ступенню дэструкцыі (мал. 7).

Спецыфіка канструкцыі заключаецца, апроч іншага, у яе геаметрыі – гэта не прамыя лініі, а дугі кола. Гэта правакуе пытанні пра функцыянальнае прызначэнне аб'екта.

Апісанне палі

Выцягнутая на бераг паля была нахіленай і знаходзілася ў 2-м шэрагу лініі канструкцыі (калі лічыць з поўдня) ва ўсходняй яе частцы. Агульная даўжыня палі складала 6,32 м.

Верхняя яе частка, даўжынёй 1,5 м, якая знаходзілася ў вадзе над глеем, была пакрытая наросцямі ракушак. Расчыстка ад іх дазволіла выявіць у верхняй частцы палі жолаб – прадаўгаватае паглыбленне, выдзеўбанае ў бярвяне (мал. 8), даўжынёй 0,45 м. Далейшыя даследаванні мусілі паказаць, ці з'явіўся гэты жолаб як канструкцыйны элемент, ці ўзнік у выніку раскладання структуры дрэва.

Асноўная частка палі, якая знаходзілася ў донным глеі, захавалася добра. У самым нізе маецца засечка ў выглядзе папярочнага



Мал. 8. Паля падводнай канструкцыі ў воз. Дзерба, выцягнутая на бераг. Жолаб у навершы. Расчыстка ад ракушак



Мал. 9. Засечка ў цэнтральнай частцы палі, якая знаходзілася ў глеі



Мал. 10. Спіл, падрыхтаваны для дэндрахраналагічнага аналізу

жолабу шырынёй 8 см і глыбінёй 2 см. Таксама былі знойдзены сляды ад апрацоўкі сякерай (мал. 9).

Вынікі дэндрахраналагічнага аналізу

Паля была выраблена з хвой (сасны) *Pinus* sp., што выяўлена паводле анатамічнай будовы дрэва. Для правядзення дэндрахраналагічнага аналізу паверхня ўзору была зачышчаная брытвенным лязом і кантраставана крэйдай (мал. 10). Дэндрахраналагічны аналіз выканаў кандыдат біялагічных навук Максім Ярмохін. Першасную тэхнічную падрыхтоўку ўзораў здзейсніў Андрэй Ліхачоў.

Вымярэнне шырыні гадавых кольцаў выканана ў праграмным забеспячэнні AreMag паводле выявы. Дакладнасць вымярэння – 0,01 мм. Замеры па 2 радыусах прыводзіліся да сярэдняй велічыні ў адну серыю (BRA23001). Для перакрывава-нага датавання выкарыстоўваліся праграмы COFECHA і TSAP-Win. Сінхранізацыя серыі гадавых кольцаў з дэндрахраналагічнымі шкаламі правяралася таксама шляхам візуальнага супастаўлення графікаў шырыні першых.

Дзеля абсалютнага датавання ўзораў выкарыстаны дэндрахраналагічныя шкалы, пабудаваныя паводле ўзораў, узятых з жывых дрэў, драўляных канструкцый гістарычных будынкаў, археалагічных матэрыялаў з рэгіёна даследаванняў, а таксама шкалы з International Tree-Ring Data Bank.

На ўзоры было выяўлена 90 гадавых кольцаў і створаны графік іх серыі BRA23001. Найлепшыя вынікі па датыроўцы былі атрыманы пры супастаўленні ўзору BRA23001

і рэгіянальнай шкалы па хвой з паўночнай Беларусі BY03, а таксама шкалам Litpinus (Літоўская Рэспубліка) і BY02 (заходняя Беларусь). Устаноўлена: вонкавае гадавое кальцо (верагодна, дата высечкі дрэва, што паслужыла матэрыялам) датуецца альбо 1613 г., альбо 1870 г. У абодвух выпадках карэляцыя невысокая, але пры гэтым дакладная. Для 1613 г. *t*-крытэрыі складае 3,0–3,8, GLK – 65–69, для 1870 г. адпаведна 3,4–4 і 59–60.

Пытанні інтэрпрэтацыі функцыяналу канструкцыі

Знойдзенае падводнае збудаванне, яго размяшчэнне і маштаб спараджаюць пытанні аб функцыянальным прызначэнні гэтай гідратэхнічнай пабудовы.

Адразу ўзнікае некалькі версій:

- кантроль воднай пратокі на ўваходу/выхаду з Балтыйскага воднага басейна ў сярэднявечны перыяд;
- антылёдавая канструкцыя;
- падпоркі маста;
- частка рыбнай гаспадаркі ранняга Новага часу.

Звязваць канструкцыю ў воз. Дзерба з гарадзішчам Маскавічы – вельмі спакусліва і досыць лагічна. Але атрыманыя дэндрахраналагічныя характарыстыкі не дазваляюць прывязаць знаходку наўпрост да гэтага аб'екту XI–XIII стст. Нахіленыя палі ў канструкцыі размешчаны другім шэрагам, паўночнай вертыкальных. Іх ухіл скіраваны па плыні воднай пратокі, а не супраць яе. Такім чынам, яны не выконваюць функцыі падпораў вертыкальных паляў і не могуць спыняць ільдзіны ў крыгах.

Дадзеная пабудова ўяўляе сабой нестандартнае рашэнне для

маставаго збудавання. У адрозненне ад традыцыйных мастоў, якія з’яўляюцца часткай дарожнай інфраструктуры і вядуць праз водную перашкоду, гэты аб’ект не мае прыкметаў дарожнай сувязі з берагамі: ні з аднаго, ні з другога боку не выяўлена рэшткаў дарог ці сцежак. Гістарычныя карты рэгіёна таксама не фіксуюць у гэтым месцы ніякіх шляхоў зносін. Для маста сама канструкцыя мае некласічную канфігурацыю. Падводнае збудаванне злучае абодва берагі пратокі. Але яго геаметрыя – гэта не прамыя лініі, а дугі паўкола, што не з’яўляецца тыповым для канструкцый маста.

Тэарэтычна можна было б дапусціць выкарыстанне канструкцыі для рыбага промыслу, хоць аналогу рыбных садкоў не вядома.

Яшчэ адно важнае пытанне: якой гаспадарцы ці інстанцыі магла належаць падобная канструкцыя?

Гістарычныя даследаванні

Вышэй мы ўжо адзначалі, што ў акваторыі воз. Неспіш маюцца астравы. На адным з іх, пад назвай Манастыр, на працягу XV–XIX стст. дзейнічаў Браслаўскі Прачысценскі кляштар. Можна сцвярджаць, што паміж 1501 і 1506 гг. ён ужо функцыянаваў [16] і ў канцы XV – пачатку XVI ст. веў актыўную гаспадарчую дзейнасць на востраве. Пасля заключэння Берасцейскай царкоўнай уніі ў 1596 г. кляштар увайшоў ў юрысдыкцыю ўніяцкай іерархіі і дзейнічаў прынамсі да 1630-х гг. З сярэдзіны XVII ст. (часоў Трынаццацігадовай вайны) і да заканчэння Вялікай Паўночнай вайны (да 1720-х гг.) манастыр дэ-факта не функцыянаваў.

У кантэксце нашай тэмы важна адзначыць, што паводле даследчыкаў гісторыі манастыра і матэрыялаў актавых кніг Браслаўскага земскага суда 1603–1614 гг. тутэйшы кляштар у той перыяд ужо не меў паўнаwartаснай структуры і з’яўляўся, па сутнасці, маёнткам у сістэме уніяцкай царквы [17].

Тут варта звярнуць увагу, што перыяд гэтай гаспадарчай дзейнасці карэлюе з адной з датаў, атрыманых па выніках дэндрахналагічнага даследавання, – 1613 г.

Генеральная візітацыя манастыроў у 1819 г. падае досыць падрабязнае апісанне архіву Браслаўскага манастыра. З яе тэксту можна зразумець, што першапачатковае наданне 1503 г., зацверджанае каралём і вялікім князем Аляксандрам, уключала ў сябе 15 гаспадарак у Браслаўскім павеце, а таксама палову воз. Неспіш і млын на р. Усвіцы, якая ўпадае ў воз. Дрывяты [18].

Фундатарамі манастыра ў першай трэці XVII ст. прыгадваюцца Скуміны-Тышкевічы. А ў 1634 г. князь Іван Масальскі надаў Браслаўскаму манастыру палі Каралі і Шыпкаўшчына, якія ў пачатку XIX ст. былі вядомыя ўжо як засценак: «Міцкевічы называны» – гэта, праўдападобна, і ёсць цяперашняя вёска Маскавічы. Апроч таго, у валоданне манастыру быў перададзены таксама «замак Гарадзішча»,

што можна разглядаць як Маскавіцкае гарадзішча. Цікава для нашай тэмы тое, што ў 1728 г. востраў Манастыр быў злучаны з мацерыковым берагам двума мастамі. Отан Гедэман адзначаў, што яшчэ ў 1929 г. пры ціхім надвор’і ён мог бачыць у вадзе палі аднаго з мастоў [19]. Пры мацерыковай частцы гэтага маста мелася аўстэрыя (пастаялы двор).

Што ж датычыцца яшчэ адной дэндрахналагічнай даты – 1870 г., то варта адзначыць, што 21 жніўня 1832 г. у кляштары «з-за ўдару Перуна» адбыўся пажар. Але яшчэ ў 1827 г. выйшла рэзалюцыя пра скасаванне кляштара і перадачы яго маёмасці да агульнага фондуша ўніяцкай царквы [20]. Пасля пажару 1832 г. манастыр больш ужо не аднавіў сваёй дзейнасці і ў 1834 г. быў афіцыйна зачынены.

Надводную сітуацыю на воз. Неспіш у сярэдзіне XIX ст. можна праілюстраваць іканаграфічнай крыніцай з 1860-х гг. Гэта альбом акварэльных замалёвак мастака і археолага Дзмітрыя Струкава, выкананых у час экспедыцыі па Беларусі і Літве ў 1864–1867 гг. На ілюстрацыі №15 выяўлена воз. Неспіш з астравамі Манастыр і Святым [21], і тут адсутнічаюць прыкметы канструкцый у возеры, якія б выступалі над вадой (мал. 11).

Картаграфічная крыніца пачатку XX ст. таксама дае



Мал. 11. Дзмітрый Струкаў. Воз. Неспіш з астравамі Манастыр і Святым. 1864 г. Акварэль
Источник: [20]



Мал. 12. «План селянскіх надзелаў вёскі Маскавічы Браслаўскай воласці Новааляксандраўскага павета Ковенскай губерні» ад 3 красавіка 1915 г. (фрагмент). Істочнік: [22]

ўяўленне пра наяўнасць ці адсутнасць гідралагічных пабудов на воз. Неспіш у той перыяд. Гаворка ідзе пра «План селянскіх надзелаў вёскі Маскавічы Браслаўскай воласці Новааляксандраўскага павета Ковенскай губерні» ад 3 красавіка 1915 г., які захоўваецца ў Каўнаскім рэгіянальным дзяржаўным архіве [22]. На плане выразна паказаная акваторыя возера каля паўвыспы, на якую выходзіць усходняе крыло канструкцыі (мал. 12). Якіх-небудзь збудаванняў у вадзе і тут не назіраецца.

Папярэднія высновы

На дадзеным этапе даследаванняў можна сфармуляваць толькі першасныя развагі датычна вынікаў. Дэндралагічны аналіз здабытай са дна возера палі называе дзве кантрасныя даты – 1613 г. ці 1870 г. Наяўныя

і канаграфічныя матэрыялы не даюць падставы датаваць выяўленую падводную канструкцыю XIX ст. Гістарычныя ж і дэндрахраналагічныя матэрыялы дазваляюць дапусціць, што падводная прылада была створана ў першай чвэрці XVII ст. – у перыяд гаспадарчага росквіту Браслаўскага Прачысценскага манастыра.

Дзеля ўдакладнення датыровак і канчатковага высвятлення функцыянальнага прызначэння канструкцыі неабходны далейшыя падводныя працы ў акваторыі воз. Дзерба. Апроч гэтага патрэбна археалагічная разведка на абодвух берагах пратоцы, дзе канструкцыя падыходзіць найбліжэй да сушы. Такім чынам, загадка знойдзенага гістарычнага аб'екта пакуль да канца не разгаданая і патрабуе адказаў на шматлікія навуковыя пытанні. ■

СПІС ВЫКАРЫСТАНЫХ КРЫНІЦ

- Покровский Ф.В. Археологическая карта Ковенской губернии. – Вильна, 1899. С. 25.
- Дучыц Л.У. Браслаўскае Паазер'е ў IX–XIV стст.: Гісторыка-археалагічны нарыс. – Мінск, 1991. С. 24.
- Дучыц Л.У. Гарадзішча Маскавічы (агульная характарыстыка). С. 64; Дучыц Л.В., Мельникова Е.А. Надписи и знаки на костях с городища Масковичи (Северо-Западная Белоруссия) // Древнейшие государства на территории СССР. 1980. – М., 1981. С. 185–216.
- Дучыц Л.У. Браслаўскае Паазер'е ў IX–XIV стст. – С. 31.
- Каблоў С. Падводная археалогія на Беларусі // 3 глыбі вякоў. Наш край: Гіст.-культуралаг. зб. Вып. 1. – Мінск, 1996. С. 30.
- Брукс К. Климаты прошлого. – М., 1952. С. 282–287.
- Дучыц Л.У. Гідраархеалагічныя даследаванні ў возеры Дзерба каля Маскавіцкага гарадзішча // Гісторыя і археалогія гарадзішча Маскавічы: зборнік навуковых артыкулаў. – Рыга, 2013. С. 92.
- Симонов С. D.S.S. (Dum spiro, spero). Пока дышу, надеюсь. – Всевожск, 2022. С. 45.
- Дучыц Л.У. Гідраархеалагічныя даследаванні ў возеры Дзерба каля Маскавіцкага гарадзішча. С. 95.
- Дучыц Л.У. Браслаўскае Паазер'е ў IX–XIV стст. С. 24.
- Дучыц Л.У. Маскавічы // Полоцкий летописец. 1993. №1(2). С. 13; Дучыц Л.У. Гарадзішча Маскавічы (агульная характарыстыка). С. 62.
- Дзерба – возера, якога няма // <https://www.braslav-star.by/2019/04/01/%D0%94%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%B0-%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%B0-%D1%8F%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%B0-%D0%BD%D1%8F%D0%BC%D0%B0/>.
- Дучыц Л.У. Гідраархеалагічныя даследаванні ў возеры Дзерба каля Маскавіцкага гарадзішча. С. 90; Московкина Э.Г. Гидрологический режим р. Даугава // Геология долины реки Даугава / Труды Института геологии и полезных ископаемых. – Рига, 1959. Вып. 111. С. 115–158.
- Янушко О.Ф. Белорусское Поозерье: История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии. – Минск, 1971. С. 270.
- Махнач Н.А. Палинологическая оценка озерных отложений севера Белоруссии в поздне- и послеледниковое время / Н.А. Махнач, О.Я. Якушко, В.А. Калечиц // Палинологические исследования в Белоруссии и других регионах СССР / отв. ред. В.К. Голубцов. – Минск, 1971. С. 113–121.
- Еловичева Я.К., Мысливец И.А. Палеогеография озер Браславской возвышенности // Стратиграфия и палеогеография антропогена. – Минск, 1975. С. 90–97.
- Варонін В.А. Браслаўскі Прачысценскі манастыр на востраве паводле прывілея Жыгімонта І 1540 г. // Браслаўскія чытанні. Матэрыялы VI навука.-краязнаўч. канф., прысвечанай 150-й гадавіне з дня нараджэння браслаўскага лекара, грамадскага дзеяча С. Нарбута (1853–1926), 7–8 мая 2003 г. – Браслаў, 2003. С. 13–15.
- Лісейчыкаў Д.В., Плавінскі М.А. «Цуд на востраве сярод водаў»: Браслаўскі Прачысценскі манастыр у святле пісьмовых крыніц і археалагічных даследаванняў // Архіварыус. Вып. 19. – Мінск, 2021. С. 119.
- Нацыянальныя гістарычныя архівы Беларусі. Ф. 136 (Мінская духоўная праваслаўная кансісторыя). Воп. 1. Спр. 41257. Генеральныя візіты базыльянскіх манастыроў Літоўскай правінцыі. 1819 г. Арк. 35 адв. –36; Лісейчыкаў Д.В., Плавінскі М.А. «Цуд на востраве сярод водаў». С. 118.
- Hedemann O. Historia powiatu Brzławskiego. – Wilno, 1930. S. 396, 398.
- Марозова С.В. Браслаўскі Базыльянскі манастыр: падзеі і людзі // Памяць: Гісторыка-дакументальная хроніка Браслаўскага раёна. – Мінск, 1998. С. 629.
- Vilniaus universiteto biblioteka (Бібліятэка Віленскага ўніверсітэта). F78-933 (у каталоге праінтэрпрэтавана як від на Нясвіжскае воз.: Vaizdas 5 varstų nuotoly nuo Breslaujos miestelio. Nesvyžiaus ežeras. Šventoji sala ir sala, kur stovėjo Uspenijaus vjryų vienuolynas: [akvarelė]); Струков Д. Альбом рисунков. 1864–1867 / под ред. О.Д. Баженовой. – Минск, 2011. С. 46–47, 204–205.
- Kauno regioninis valstybės archyvas (Каўнаскі рэгіянальны дзяржаўны архіў). F. I-66. A. 5. B. 54. L. 1.

Александр Щавлев,
заместитель директора по научной
работе Научно-производственного
центра многофункциональных
беспилотных комплексов НАН Беларуси,
кандидат технических наук

Игорь Аниськов,
ведущий научный сотрудник НПЦ
многофункциональных беспилотных
комплексов НАН Беларуси, кандидат
экономических наук, доцент

Юрий Семак,
ведущий научный сотрудник НПЦ
многофункциональных беспилотных
комплексов НАН Беларуси, кандидат
технических наук, доцент

Инна Маркова,
младший научный сотрудник НПЦ
многофункциональных беспилотных
комплексов НАН Беларуси;
innamarkova1800@gmail.com

Ань Суан Нгуен,
директор Института геофизики
Вьетнамской академии наук
и технологий, доктор физико-
математических наук

Наблюдения в планетарном пограничном слое атмосферы на основе беспилотной платформы

УДК 57.045:551.501.7:629.7.054

Аннотация. Рассматривается концепция подсистемы наблюдения за атмосферой в планетарном пограничном слое на основе малоразмерной беспилотной воздушной платформы самолетного типа. Анализируются технические возможности и преимущества данной системы, а также рассматриваются классические методы атмосферного наблюдения и их основные ограничения. Кроме того, выявлены перспективные направления дальнейшего развития применения беспилотных воздушных платформ в области мониторинга атмосферы.

Ключевые слова: атмосфера, параметры атмосферы, планетарный пограничный слой атмосферы, мониторинг загрязненности, подсистема, беспилотная воздушная платформа, целевая нагрузка.

Для цитирования: Щавлев А., Аниськов И., Семак Ю., Маркова И., Нгуен А.С. Наблюдения в планетарном пограничном слое атмосферы на основе беспилотной платформы // Наука и инновации. 2025. №11. С. 65–72.
<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-11-65-72>

Исследование атмосферы в планетарном пограничном слое («слой трения») атмосферы Земли – активная и многогранная область познания. Пограничный слой атмосферы относится к той ее части, которая подвержена суточным изменениям. Для того чтобы повысить достоверность и точность прогнозов погоды и изменений климата, эффективно управлять различными видами деятельности, а также предотвращать экологические катастрофы, требуется постоянное исследование процессов в атмосфере. Такие исследования способствуют развитию положений современной теории пограничного слоя атмосферы. В основе данной деятельности лежат результаты наблюдений, суть которых – получение метеорологической информации об атмосфере. Это совокупность сведений для прогнозирования метеорологических явлений, обеспечения безопасности авиационных полетов, выполнения расчетов, связанных с конструированием, испытанием и эксплуатацией летательных аппаратов и приборов, а также необходимых при создании теорий физики атмосферного планетарного пограничного слоя. Особо ценна информация о вертикальной структуре (профиле) тропосферы и ее динамике в зависимости от высоты.

О общеизвестно, что вертикальные профили метеорологических величин сильно изменчивы. Путем проведения большого количества исследований уже получены обобщенные эмпирические вертикальные профили подобия для метеорологических параметров в атмосферном планетарном пограничном слое, а также аппроксимирующих их функций [1]. Это позволило значительно продвинуться в понимании явлений в планетарном пограничном слое (ППС) атмосферы. Однако вопрос о структуре и динамике атмосферного планетарного пограничного слоя в условиях существенно устойчивой и неустойчивой стратификации при наличии атмосферных температурных инверсий в условиях неоднородной поверхности остается недостаточно изученным. Не менее важна проблема наблюдения за атмосферными турбулентностями в ППС. Измерения турбулентности в пограничном слое атмосферы (ПСА) наиболее интенсивно проводились с 50-х гг. прошлого века. Причем в качестве основных средств использовались специальные метеорологические мачты, на которых размещались датчики и привязные аэростаты, радиозонды. Эти методы давали возможность получать вертикальные профили основных метеорологических параметров – скорости и направления ветра, температуры воздуха, а также турбулентности до высот 50–300 м – практически только в приземном слое [2].

Информация о профилях температуры, влажности и скорости ветра является также важным фактором исследований состава (газового и аэрозольного) атмо-

сферы, а также составной частью подспутниковых экспериментов. Данные сведения особо востребованы для верификации и совершенствования численных моделей погоды и климата.

На информативность, точность и достоверность результатов исследований оказывает существенное влияние способ измерения параметров атмосферы.

Для проведения прямых измерений в нижнем слое атмосферы [3] используют контактные методы наблюдений. Обычный способ измерения профилей метеопараметров в атмосфере – радиозондирование с применением воздушных шаров. Однако данный способ дорогой, основан на одноразовом использовании средств наблюдения и обременен разреженностью сети аэрологических наблюдений и низким временным разрешением, так как на большинстве аэрологических станций зондирование производится в лучшем случае 2 раза в сутки [4].

Поэтому налицо основной комплекс недостатков классических наблюдений: редкое зондирование атмосферы, сложность организации аэрологической станции, особенно при пересеченном рельефе, высокая стоимость комплектов для радиозонда, невозможность установки высотных метеорологических мачт в труднодоступных болотистых местах, а также наличие эксплуатационных и функциональных ограничений [4].

Для наблюдения за состоянием атмосферы также используются многоуровневые контактные измерения на метеорологических мачтах различной высоты. Но их результаты имеют дискретный характер и охватывают лишь приземный слой высотой до несколь-

ких сотен метров. При этом требуется особое внимание уделять соблюдению точности взаимной калибровки метеорологических датчиков.

Перспективный способ наблюдения, в том числе и мониторинга вертикальной структуры атмосферы с высоким пространственно-временным разрешением – дистанционное зондирование с помощью радаров, лидаров, содаров, а также профиломеров температуры и влажности. Однако такое оборудование весьма сложное, относительно дорогое и требует больших затрат на обеспечивающую его инфраструктуру.

Наиболее полную информацию о строении пограничного слоя атмосферы возможно получать с помощью воздушных платформ (например, самолетов-лабораторий), но это тоже весьма дорого и накладно при практически востребованной интенсивности полетов.

Новые возможности для наблюдений за атмосферой в планетарном пограничном слое предоставляют беспилотные воздушные платформы – БЛА различного типа. С помощью измерителя параметров атмосферы, который конструктивно исполнен в виде штатной целевой нагрузки (ЦН) для БЛА, происходит регистрация первичной информации, в том числе параметров атмосферы, на всем маршруте полета летательного аппарата. Маршрут полета БЛА обеспечивает охват пространства оценки планетарного пограничного слоя. При этом процесс получения метеорологических сведений обеспечивается единым целым и при необходимости удобно разделяется на этапы поступления первичной и вторичной информации [5].

Первичная информация – это «сырые» потоки данных, полученные непосредственно от источника информации (измерителей) путем измерения характеристик атмосферы, а также координаты и параметры движения барицентра беспилотной воздушной платформы в пространстве оценки планетарного пограничного слоя. Вторичная информация представляет собой обработанную или интерпретированную первичную. Для использования первичной информации потребителем необходимо привести ее к целевому виду.

Упрощенный вид процесса передачи временных рядов первичной информации с БЛА приведен на *рис. 1*. Смысл представления первичной информации заключается в приведении ее к виду, пригодному для хранения, использования, передачи и обработки конечным пользователем, то есть потребителем.

Первичная информация регистрируется в виде временного потока данных от измерителей (датчиков) параметров атмосферы. Современные измерительные средства позволяют улучшать и повышать качество измерения, моделирования и мониторинга атмосферных процессов. Реализуемый поток данных содержит следующие

сведения и оценки параметров: время регистрации, географическое положение (координаты) и высота барицентра беспилотной воздушной платформы (БВП), ее путевая скорость, воздушная скорость, направление ветра, давление, температура, относительная влажность, концентрация аэрозолей (PM_{2,5}), концентрация озона (O₃). Совокупность регистрируемых показателей, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования, представляется в виде базы данных, которая не зависит от прикладных программ и служит объектом управления данными [5].

Таким образом, целью представления первичной информации является преобразование сообщений, организованных в базе данных на физическом уровне (XH2.54-4P), в сообщения, организованные на логическом уровне, то есть в вид, удобный для восприятия человеком и использования в работе (*таблица*). Минимальная дискретность временного интервала представления первичной информации определяется техническими характеристиками измерителя параметров атмосферы в планетарном пограничном слое.

Электронная таблица формируется в формате (расширение .xlsx), согласуемом с программой Excel, что позволяет использовать статистические методы обработки данных для вывода вторичной информации [5]. Полученные вышеперечисленные ряды с помощью средств обработки опытных данных (математической статистики) приводятся к виду, пригодному для использования в различных моделях современной теории пограничного слоя атмосферы.

В отличие от использования зонда, идея состоит в возможности послойного снятия данных в симметричных точках на разном уровне по маршруту полета – за один вылет и с использованием одного и того же оборудования, показания которого мало зависят от перемещения воздушных потоков.

Практическая новизна решаемых задач состоит в разработке интегрированной подсистемы наблюдения за атмосферой на основе технологий БВП. В качестве носителя исследовательского оборудования используется специально модернизированная скоростная воздушная платформа самолетного типа (БЛА «Бусел-М40»), что позволяет охватить весь диапазон высот планетарного пограничного слоя (до 3000 м), минимизировать влияние воздушных потоков, оптимизировать состав измерительного оборудования и передавать первичную

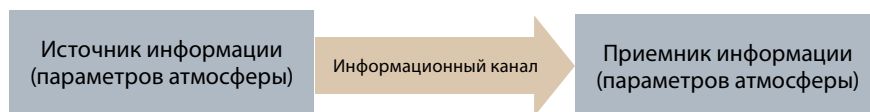


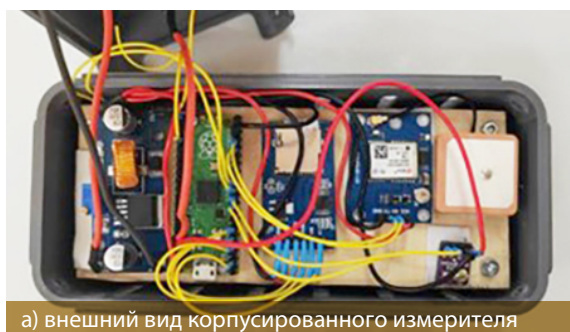
Рис. 1. Упрощенный вид процесса передачи первичной информации

Время, чч, мм, сс	Координаты		Высота, м	Скорость, м/с		Напр. ветра	Давление, МПа	Темпе- ратура, град С	Относит. влажность, %	PM _{2,5}	O ₃	CO	CH ₂ O
	с.ш.	в.д.		пут.	возд.								
....													

Таблица. Таблица параметров атмосферы в планетарном пограничном слое



Рис. 2. Общий вид планера БВП на основе малоразмерного БЛА «Бусел-М» (без ЦН)



а) внешний вид корпусированного измерителя



б) вид ЦН спереди

Рис. 3. Внешний вид измерителя параметров атмосферы планетарного пограничного слоя ZPHS01B и целевой нагрузки

информацию в режиме реального времени. Размах крыла БЛА «Бусел-М40» (рис. 2) составляет 2,74 м, максимальная взлетная масса – 14 кг, крейсерская воздушная скорость горизонтального полета – 65–70 км/ч, радиус действия – до 60 км, диапазон высот полета – до 3000 м, продолжительность полета на крейсерской скорости – до 2 ч.

Беспилотный летательный аппарат имеет несложное, интуитивно воспринимаемое ручное и автоматическое управление, а также надежную систему автопилотирования. Автопилот автоматически выравнивает планер и удерживает ориентацию

БЛА по горизонтали, что делает его маневрирование плавным и безопасным. В функции автопилота также входит автоматический возврат в точку старта при потере связи с наземным пультом управления. Система радиосвязи беспилотного авиационного комплекса (БАК) обеспечивает отображение данных телеметрии на дисплее АРМ оператора. Непрерывно ведется запись таких параметров полета БЛА, как координаты, высота, скорость полета, показания компаса и гироскопа, состояние аккумуляторной батареи, режимы работы навигатора и автопилота и др. При измерениях с борта БЛА компоненты скоро-

сти ветра могут определяться как разность между векторами воздушной скорости летательного аппарата и скорости его движения относительно Земли. Для вычисления вектора воздушной скорости с помощью приемников давлений могут измеряться аэродинамические углы набегающего воздушного потока; его же скорость может определяться по динамическому и статическому давлению. Вектор скорости движения БЛА относительно Земли фиксируется с помощью инерциальных навигационных систем INS и систем глобального позиционирования GPS.

При помощи БВП, оснащенной целевой нагрузкой (ЦН) (рис. 3) – измерителем параметров атмосферы (ИПА), можно определять (оценивать) содержание основных химических загрязнителей атмосферного воздуха: углекислого газа (CO_2), озона (O_3), формальдегида (CH_2O), монооксида углерода (CO , угарный газ), микрочастиц аэрозоля $\text{PM}_{2,5}$. Результаты измеренных вертикальных профилей массовой концентрации аэрозоля $\text{PM}_{2,5}$ дают возможность оценить интенсивность загрязнений, в том числе и в городских условиях. Все измерители монтируются в элемент БВП, называемый целевой нагрузкой.

Разработанный действующий экспериментальный макет целевой нагрузки включает многокомпонентный модуль контроля качества воздуха ZPHS01B (Winsen), датчик атмосферного давления, влажности и температуры BME280, GPS-модуль NEO-M8N, Raspberry Pi Pico программируемый контроллер на базе RP2040, курсовую камеру RunCam Swift 2 [5]. Воздушная платформа на основе БЛА с данной ЦН способна регистрировать в том числе метеорологические

величины для оценивания структуры пограничного слоя атмосферы. Более того, при исследованиях структуры ПСА выше приземного слоя (на высотах более 150–300 м) использование беспилотного средства с прагматической точки зрения практически не имеет альтернативы.

Возможная интеграция ПНА на основе малоразмерной БВП в структуру Глобальной службы атмосферы (ГСА) как части Глобальной системы наблюдений (ГСН) (рис. 4) может быть осуществлена при помощи следующих вспомогательных программ:

- *управления данными (мониторинг потока информации и управление им в рамках системы службы погоды для обеспечения качества и своевременного поступления данных, использования стандартных форматов их представления для удовлетворения потребностей потребителей);*
- *поддержки систем службы погоды (обеспечивает конкретное техническое руководство, подготовку кадров, оперативное информационное обслуживание).*

Архитектура подсистемы обладает свойством «гибкости», имеет модульную структуру и построена на принципах взаимодействия открытых систем, то есть для обеспечения технических возможностей, например интеграции в нее дополнительных станций, датчиков и/или периферийных устройств. Концепция сети подсистемы предусматривает опцию выбора средств маршрутизации данных и альтернативных средств связи, адаптированных к последним технологическим достижениям [6].

Потребности в данных наблюдений специфичны для различ-

ных областей применения. Так, для некоторых из них (сельское хозяйство и производство продовольствия, авиация, сухопутный транспорт) помимо экологического мониторинга атмосферы и прогнозирования погоды предоставляется периодическое или оперативное метеорологическое обслуживание.

Из всех аэрологических методов, использующих телеметрические сигналы для сбора данных, наиболее распространенными остаются радиозондовые наблюдения (рис. 5).

Большинство современных радиозондов, в сущности, измеряют основные переменные температуры, давления и относительной влажности (или точки росы) с помощью датчиков, установленных на приборном блоке, который снабжен также радиочастотным передатчиком. Он передает эти данные на наземное приемное оборудование, где они непосредственно вводятся в компьютер для последующего анализа на автоматизированном рабочем

месте метеоролога (рис. 6). Независимо от используемого метода эта информация должна переводиться в форму, которую можно легко распознавать и стандартизировать в соответствии с Техническим регламентом (ВМО-№ 49) [7].

Конструкция радиозонда на базе малогабаритной БВП и размещение на ней датчиков должны быть такими, чтобы свести к минимуму неблагоприятные воздействия на прибор солнечной и земной радиации, осадков, испарения или его обледенения. При необходимости вносятся соответствующие поправки на радиацию. За несколько минут до запуска радиозонда на базе БВП проводится контрольное (проверочное) снятие показаний с каждого датчика [6].

На синоптической аэрологической станции вертикальное расстояние набирающего высоту радиозонда определяется посредством получения информации о телеметрии БВП или слежения с помощью высокоточного радиолокатора. Измеряемые радиозондом

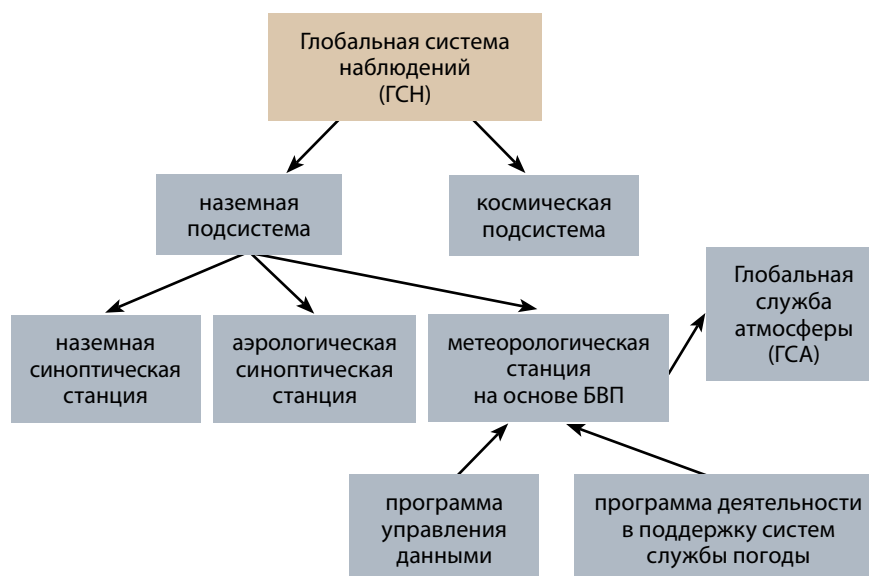


Рис. 4. Блок-схема интеграции подсистемы наблюдения атмосферы в планетарном пограничном слое на основе малоразмерной БВП самолетного типа в структуру ГСН и ГСА

переменные величины, желательные диапазоны и требования к неопределенности приведены в Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений (ВМО-№8), часть I, глава 12, приложение 12А [8].

Летный эксперимент, проводившийся в Республике Беларусь 12.10.2024 г. с 12.00 до 14.00, позволил исследовать параметры/свойства атмосферных слоев на различных высотах (до 3000 м, что видно на рис. 7 и 8).

В ходе летного эксперимента [5] измеренные данные сформированы в файл регистрации с расширением .txt (рис. 9).

После первичной обработки данных файл с расширением .txt конвертирован в файл с расширением .xlsx (Excel). При обработке экспериментальных данных были получены следующие результаты: с увеличением высоты температура изменялась от 17 до 2,3 °С, атмосферное давление – от 1019,41 до 926,97 hPa, относительная влажность – от 76 до 36%, концентрация аэрозолей (PM_{2,5}) – от 0 до 23 мкг/м; концентрация углекислого газа примерно одинакова на всем диапазоне измерений – около 400 ppm, озона – от 0 до 0,23 ppm, формальдегида – от 0 до 0,018 мг/м³; скорость ветра менялась от 2 до 10 м/с (некоторые параметры представлены на рис. 10).

Метеоданные, полученные с помощью БВП, могут быть интегрированы в базы данных метеостанций для повышения не только оперативности, но и информативности при решении задач прогнозирования погоды.

Актуальное направление дальнейшего развития использования ИПА на БВП – разработка систем автоматизированной передачи информации с БЛА на наземные метеостанции

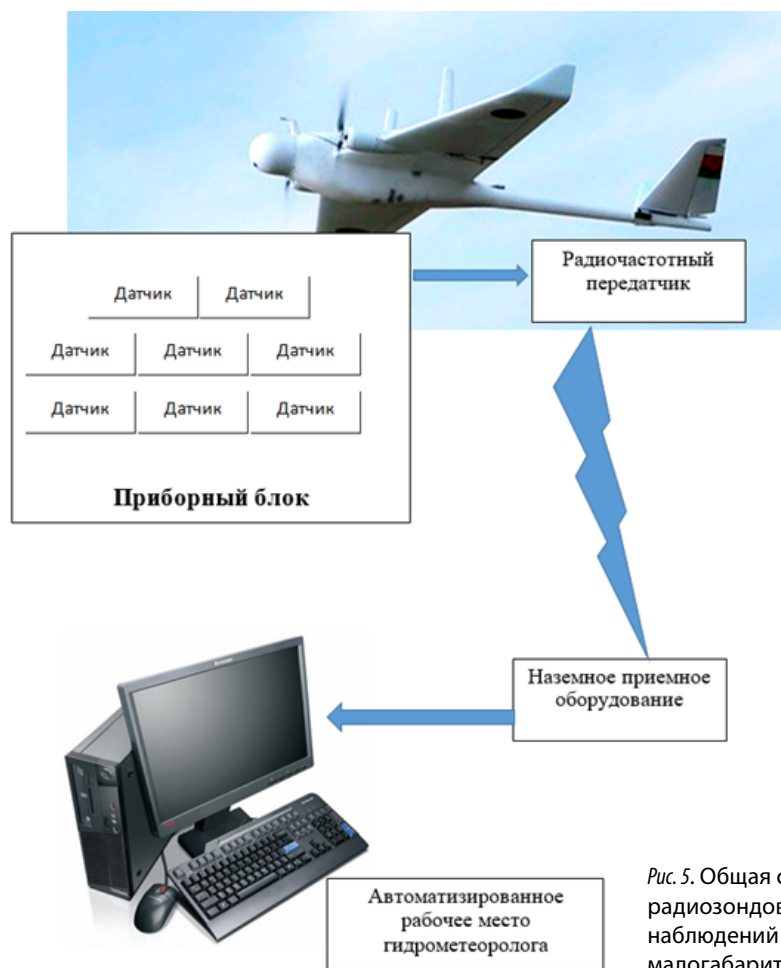


Рис. 5. Общая схема радиозондовых наблюдений на базе малогабаритных БВП



Рис. 6. Автоматизированное рабочее место метеоролога

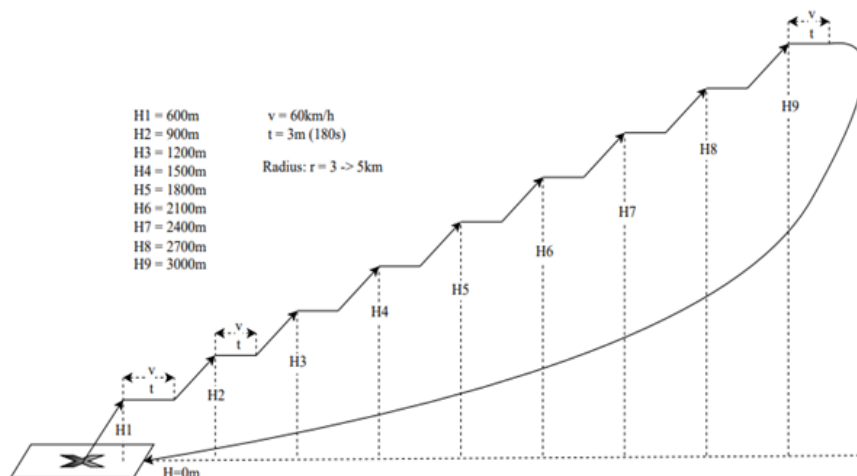


Рис. 7. Схема профиля экспериментального полета БВП



Рис. 8. График изменения высоты в зависимости от времени

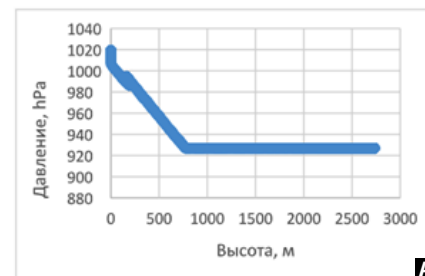
```

2412 [13:35:21]: {'sensor_data': {'PM1.0': '18 ug/m3', 'PM2.5': '23 ug/m3', 'PM10': '25 ug/m3', 'VOC': '0',
    'CO2': '403 ppm', 'Humidity': '77 %', 'CH20': '0.01 mg/m3', 'CO': '0.5 ppm', 'O3': '10.0 ppm',
    'Temperature': '17.5 C', 'NO2': '0.18 ppm'}, 'bme280_data': {'Temperature': '14.63C', 'Pressure':
    '874.51hPa', 'Humidity': '52.19%'}, 'gps_data': {'time': '13:35:21', 'altitude': 1369.4, 'geoid_height':
    23.9, 'latitude': '54.666107', 'longitude': '27.561411', 'satellites_in_use': 9}}
2413 [13:35:23]: {'sensor_data': {'PM1.0': '18 ug/m3', 'PM2.5': '23 ug/m3', 'PM10': '25 ug/m3', 'VOC': '0',
    'CO2': '400 ppm', 'Humidity': '77 %', 'CH20': '0.01 mg/m3', 'CO': '0.5 ppm', 'O3': '10.0 ppm',
    'Temperature': '17.5 C', 'NO2': '0.18 ppm'}, 'bme280_data': {'Temperature': '14.64C', 'Pressure':
    '874.64hPa', 'Humidity': '52.19%'}, 'gps_data': {'time': '13:35:23', 'altitude': 1371.7, 'geoid_height':
    23.9, 'latitude': '54.666206', 'longitude': '27.562159', 'satellites_in_use': 9}}
2414 [13:35:24]: {'sensor_data': {'PM1.0': '18 ug/m3', 'PM2.5': '23 ug/m3', 'PM10': '25 ug/m3', 'VOC': '0',
    'CO2': '400 ppm', 'Humidity': '77 %', 'CH20': '0.01 mg/m3', 'CO': '0.5 ppm', 'O3': '10.0 ppm',
    'Temperature': '17.5 C', 'NO2': '0.18 ppm'}, 'bme280_data': {'Temperature': '14.58C', 'Pressure':
    '874.42hPa', 'Humidity': '52.08%'}, 'gps_data': {'time': '13:35:24', 'altitude': 1372.7, 'geoid_height':
    23.9, 'latitude': '54.666256', 'longitude': '27.562527', 'satellites_in_use': 9}}
    
```

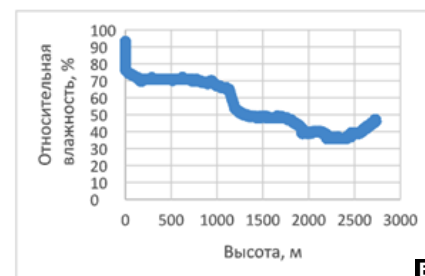
Рис. 9. Фрагмент файла регистрации параметров с расширением .txt

и центры обработки данных, что позволит быстро осуществлять комплексный анализ и использовать полученную информацию в области метеорологии и климатологии. Пути практического применения результатов исследования – запуск БВП с ЦН (ИПА) для регулярного мониторинга уровня загрязняющих веществ в атмосфере в целях оперативного реа-

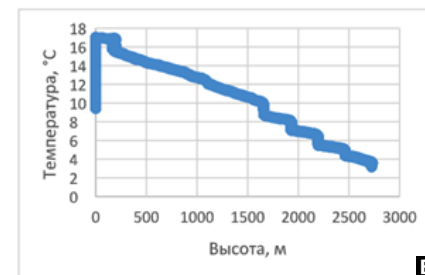
гирования на ухудшение экологической ситуации в городах и/или промышленных зонах. Задействование новой разработки в мониторинге климатических изменений позволит повысить достоверность метеопрогнозов, а в мониторинге атмосферных условий в сельскохозяйственных регионах – обеспечит агрономов данными для принятия более обоснован-



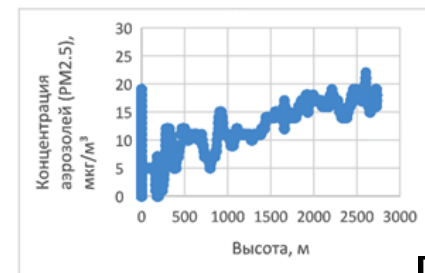
А



Б



В



Г

Рис. 10. Графики изменения давления (а), температуры (б), влажности (в) и концентрация аэрозолей (PM 2,5) (г) в зависимости от времени

ных решений о времени посева, внесения удобрений и проведения других мероприятий. Реализация поддержки экологических и климатических исследований путем сбора данных об атмосферных условиях в удаленных и труднодоступных для человека районах, интеграция ПНА с другими существующими системами мониторинга и прогнозирования

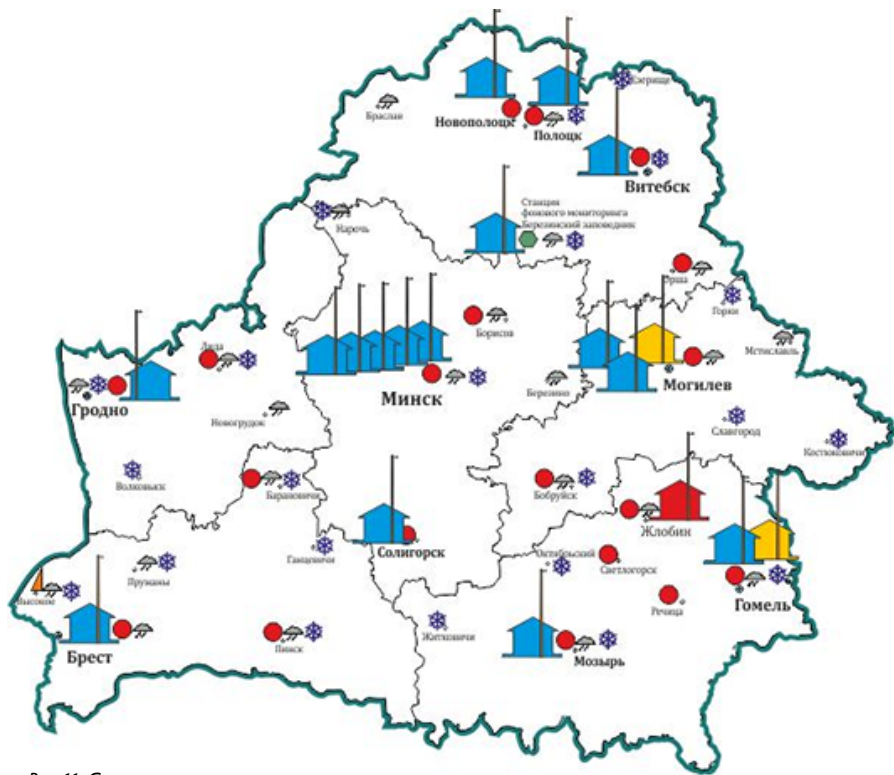


Рис. 11. Схема размещения пунктов мониторинга атмосферного воздуха

Источник: <https://rad.org.by/snob/shema-razmescheniya-punktov-monitoringa-atmosfernogo-vozduha.html> ©rad.org.by

погоды – все это позволит повысить определенность и точность представлений о погодных условиях в исследуемом регионе.

Следует отметить еще одно весьма важное направление развития наблюдений в ППС. Перспективным путем является создание мобильных малогабаритных автоматизированных аппаратно-программных комплексов для экологического и метеорологического мониторинга на базе БВП. Основная идея состоит в разработке и использовании системы, позволяющей исследовать параметры/свойства атмосферных слоев на различных высотах при полете по спиралевидной управляемой траектории с последующим возвращением в точку старта. При этом будет происходить точная передача информации на командный пункт в режиме реального вре-

мени, где на основе обработки первичных данных и их визуализации принимается решение о необходимости дополнительного сбора информации в том или ином регионе на базе пунктов мониторинга атмосферного воздуха (рис. 11) и 4 пунктов радиозондирования (Минск, Гомель, Гродно и Витебск).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kaimal J.C., Finnigan J.J. Atmospheric boundary layer flows, their structure and measurements. – New York, 1994. P. 289.
2. Струнин М.А. Исследования пограничного слоя атмосферы с помощью самолетов-лабораторий // <https://ria-stk.ru/mi/adetail.php?ID=10732>.
3. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). Учебник. – СПб., 2004.
4. Борисенко В.В. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов для проведения аэрологических наблюдений / В.В. Борисенко, Е.А. Борисенко // <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32539573>.
5. «Разработка малогабаритной беспилотной воздушной платформы самолетного типа с целевой нагрузкой для наблюдения за атмосферой в планетарном пограничном слое» по договору №Т23ВА-005 от 23.05.2023: отчет о НИР (промежут.) / ГУ «НПЦ МБК» НАН Беларуси; рук. темы А.А. Щавлев. – Минск, 2025. – №ГР20231297; инв. №124.
6. Руководство по Глобальной системе наблюдений. ВМО-№488. // <http://mgmtmo.ru/edumat/wmo/488.pdf>.
7. Технический регламент (ВМО-№ 49). // http://mgmtmo.ru/edumat/wmo/49_1.pdf.
8. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений (ВМО-№8), часть I, глава 12, приложение 12А // http://mgmtmo.ru/edumat/wmo/8_1_0.pdf.

■ **Summary.** This article discusses the concept of an atmospheric observation subsystem in the planetary boundary layer based on a small-sized unmanned aerial platform of an aircraft type with a payload – an atmospheric parameter meter. The main requirements for such a platform, its capabilities and advantages are described. The main scientific idea of the concept is to develop and use a system that makes it possible to study the parameters/properties of atmospheric layers at various altitudes during flight along a spiral-shaped controlled trajectory, followed by a return to the launch point with accurate transmission of information captured at a given step to the command post, where primary information processing and data visualization will be carried out, allowing a decision to be made on additional research is needed. This concept will be used to develop an experimental sample of an unmanned aerial vehicle with a payload – an atmospheric parameter meter.

■ **Keywords:** atmosphere, atmospheric parameters, planetary boundary layer, pollution monitoring, concept, subsystem, unmanned aerial platform, payload.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-11-65-72>

Результаты исследований получены с финансовой поддержки НАН Беларуси, Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор №Т23ВА-005) и Вьетнамской академии наук и технологий (QTVY02.01/23-24).

Статья поступила в редакцию
10.04.2025 г.

Аннотация. В статье рассмотрены риски возникновения потенциальных экономических потерь, которые могут возникнуть в результате сбоев в автоматизированных и интеллектуальных системах управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте. Предложена методика оценки влияния сбоев на систему управления перевозочным процессом. Выполнен расчет и установлены закономерности влияния сбоев в работе автоматизированных и интеллектуальных систем на систему управления перевозочным процессом, в том числе на оперативное управление поездной, станционной и грузовой работой; оперативное планирование поездной, грузовой и станционной работы; оперативное регулирование. Доказано, что переход от информационных к интеллектуальным планирующим системам позволяет существенно снизить потенциальные потери от сбоев в системе управления перевозочным процессом. Даны рекомендации по снижению рисков и ущерба в системе организации перевозочного процесса.

Ключевые слова:

железнодорожный транспорт, интеллектуальная система управления, перевозочный процесс, сбой, риски, потенциальные экономические потери.

Для цитирования: Ерофеев А. Оценка влияния сбоев в информационных и интеллектуальных системах железнодорожного транспорта на организацию перевозочного процесса // Наука и инновации. 2025. №11. С. 73–77. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-11-73-77>



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СБОЕВ В ИНФОРМАЦИОННЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОРГАНИЗАЦИЮ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА



Александр Ерофеев,
проректор по научной работе
Белорусского государственного
университета транспорта,
доктор технических наук,
профессор;
erofeev_aa@bsut.by

Железнодорожный транспорт – важный элемент экономики государства, от эффективной и надежной работы которого зависит рентабельность функционирования других, в первую очередь экспортоориентированных ее отраслей. Указанный вид сообщения отличается высоким уровнем цифровизации бизнес-процессов, что вызывает новые риски в организации перевозок при сбоях в информационно-управляющих системах. В данной работе рассматриваются вопросы оценки такого рода аварий, в том числе при условии внедрения Интеллектуальной системы управления перевозочным процессом (ИСУПП) [1], и их влияние на его ход и результат.

УДК 656.224/225.07

Методика оценки влияния сбоев на систему управления перевозочным процессом

При экономической экспертизе воздействия неполадок в информационных и интеллектуальных комплексах важно знать не только вероятность наступления такого сбоя в той или иной системе, но и степень риска его отражения на ходе перевозок [2]. Для этой цели выполнена классификация рисков по различным признакам.

При мониторинге рисков и связанных с ними дополнительных затрат принимается, что системы дорожного уровня находятся в неработоспособном состоянии в течение от 1 до 24 часов. Большой период их простаивания представляется маловероятным (за исключением случаев природных и техногенных катастроф; в таких случаях возникают затраты непосредственно от самих катастроф, а материальный ущерб от неработоспособности информационных систем дорожного уровня будет опосредованным).

В разработанной методике рассматриваются только допустимые и критические риски. Частичные не анализируются, так как в случаях их наступления дополнительные затраты отсутствуют либо проявляются косвенно через другие виды угроз. Катастрофические риски из обзора также исключены, поскольку неработоспособность систем дорожного уровня не приводит к разрушению объекта, а реализация функций управления перевозочным процессом остается возможной, хотя и при значительно больших затратах.

Все угрозы возникновения дополнительных затрат Белорусской железной дороги (БЖД), возникающие при аварийном простое информационных систем дорожного уровня, будем считать диверсифицируемыми: всегда можно разработать такую технологию, которая позволит организовать перевозочный процесс без использования этих систем, хотя и с большими издержками. То есть при оценке затрат необходимо рассматривать не общие расходы, связанные с невозможностью реализации той или иной функции, а только их определенную долю, связанную с удорожанием работ при задействовании «ручных» технологий. При увеличении периода неработоспособности систем дорожного уровня доля таких затрат также будет расти.

Анализ эксплуатационной работы Белорусской железной дороги и технологии выполнения отдельных операций перевозочного процесса позволил установить следующие функции управления, на которые непосредственно влияет работоспособ-

ность информационно-аналитической системы поддержки управляющих решений для грузовых перевозок (ИАС ПУР ГП), которая функционирует на БЖД, и поэтапно внедряемой ИСУПП [3]:

- *оперативное управление поездной, станционной и грузовой работой;*
- *оперативное планирование поездной, грузовой и станционной работы;*
- *оперативное регулирование.*

Расчет общей величины затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3, \quad (1)$$

где Y_1 – затраты, возникающие в системе оперативного управления, руб.;

Y_2 – затраты, возникающие в системе оперативного планирования, руб.;

Y_3 – затраты, возникающие в системе регулирования, руб.

В общем виде величина затрат, возникающих в результате сбоев в системе информационного обеспечения перевозочного процесса, выглядит следующим образом:

$$Y = \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^n e_i \cdot \Delta I_{ij} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2)$$

где n – количество видов ущерба в рассматриваемой подсистеме;

t – продолжительность сбоя, ч;

e_i – расходная ставка на измеритель эксплуатационной работы;

ΔI_i – величина изменения i -го измерителя эксплуатационной работы в результате сбоев в системе информационного обеспечения перевозочного процесса в j -й час сбоя;

k_1 – коэффициент, учитывающий величину изменения натуральных показателей эксплуатационной деятельности дороги при возникновении сбоев в ИАС ПУР ГП;

k_2 – коэффициент, учитывающий величину риска изменения натуральных показателей эксплуатационной деятельности дороги при возникновении сбоев в ИАС ПУР ГП.

Расчет влияния сбоев в работе ИАС ПУР ГП и ИСУПП на систему управления перевозочным процессом

При выполнении расчетов производится оценка изменения каждого показателя в отдельности в соответствии параметрами перевозочного процесса,

установленными на втором этапе работы. Для этих целей задано свыше 30 параметров, по каждому из которых выявлены аналитические зависимости их изменения от продолжительности сбоя в информационных системах, а также определены значения величины и частоты риска их изменения.

В процессе организации и управления перевозками ущерб от сбоев в работе ИАС ПУР ГП и ИСУПП может быть частично компенсирован посредством как действий работников БЖД, так и использования прогнозной информации в ИСУПП. Размер убытков компенсируется за счет:

- оперирования предварительной информацией о ходе перевозочного процесса вместо точной;
- временного перехода на ручную подготовку поездной и грузовой документации;
- учета при оперативном планировании технических нормативов вместо фактических показателей;
- использования при планировании эмпирических значений вместо фактических;
- отклонения от технологий, предусмотренных нормативными документами.

Установлены значения коэффициентов k_1 и k_2 и закономерности их изменения в анализируемый период при возникновении сбоев в ИАС ПУР ГП.

При расчете параметров применялись следующие инструменты исследования:

- фактические показатели работы подразделений Белорусской железной дороги и их сопоставление со статистикой сбоев, связанных с неработоспособностью программного комплекса;

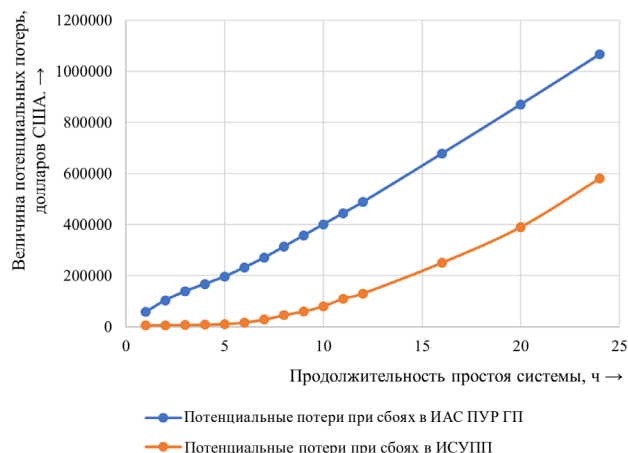


Рис. 1. График зависимости величины потенциальных экономических потерь Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в подсистеме оперативного управления поездной работой

- статистические данные по эксплуатационной надежности станций;
- программный комплекс имитационного моделирования технологического процесса переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной сортировочной станции «ПК ИМ ТП ПТВ ЖДС» [4];
- экспертная информация, полученная в результате обсуждения темы с оперативными работниками и руководством различных уровней.

По итогам анализа были установлены следующие типы зависимостей коэффициентов величины изменения натуральных показателей от продолжительности сбоев [5]. Для экономической оценки влияния используется метод расходных ставок, величины которых принимались согласно [6].

В вычислениях учитывались только зависящие расходы, вошедшие в расчет расходных ставок. Результаты работы приведены на рис. 1–7. Величина потерь для наглядности приведена в долларах США.

Анализ структуры величины ущерба в зависимости от продолжительности сбоя в ИАС ПУР ГП или ИСУПП позволяет сделать следующие выводы.

- ◆ При решении вопросов оперативной координации в системе управления перевозочным процессом переход от информационных к интеллектуальным комплексам инструментов способствует снижению потенциальных потерь железной дороги на 30–55% за счет наличия предварительно сформированных текущих планов и возможности использования в период сбоев прогнозных данных.

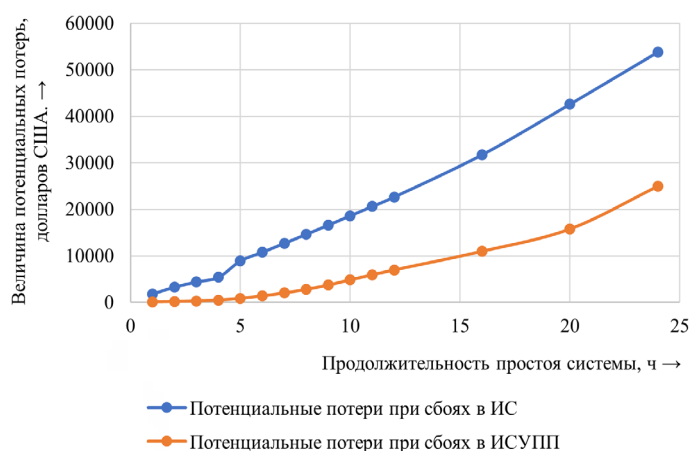


Рис. 2. График зависимости величины потенциальных экономических потерь Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в подсистеме оперативного управления станционной работой

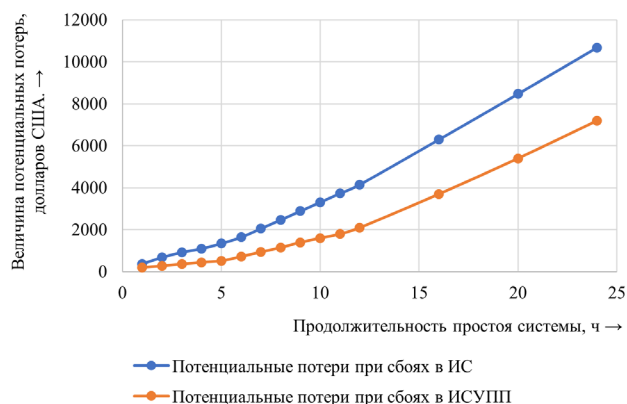


Рис. 3. График зависимости величины потенциальных экономических потерь Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в подсистеме оперативного управления грузовой работой

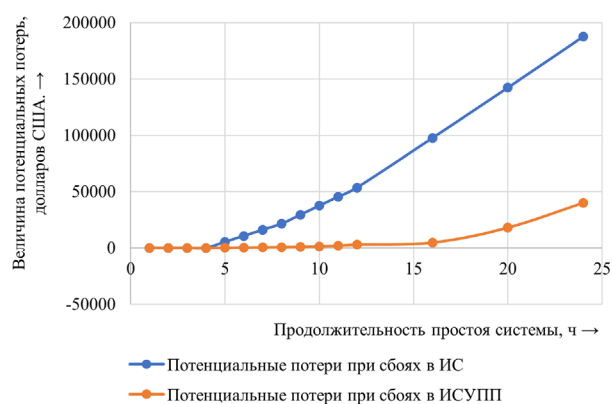


Рис. 4. График зависимости величины потенциальных экономических потерь Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в подсистеме оперативного планирования поездной работы

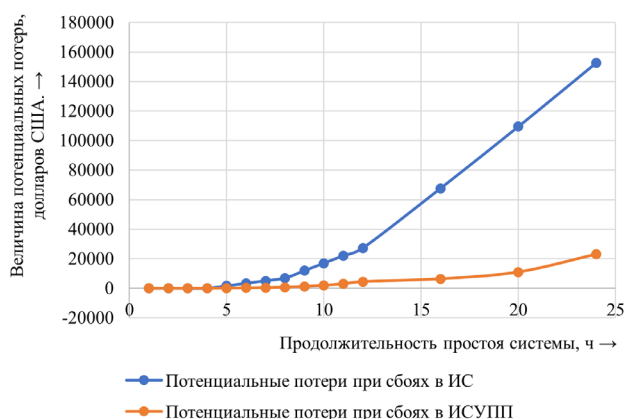


Рис. 5. График зависимости величины потенциальных экономических потерь Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в подсистеме оперативного планирования станционной работы

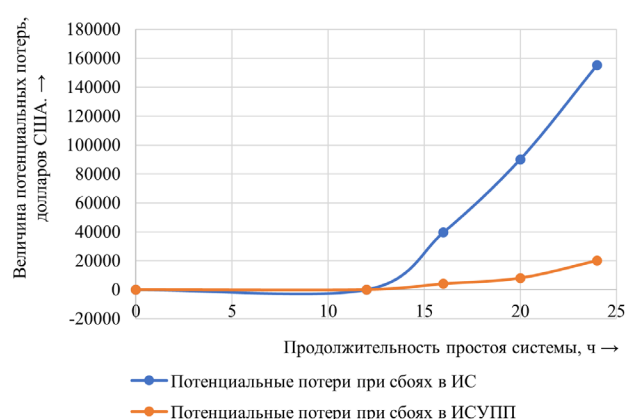


Рис. 6. График зависимости величины потенциальных экономических потерь Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в подсистеме оперативного планирования грузовой работы

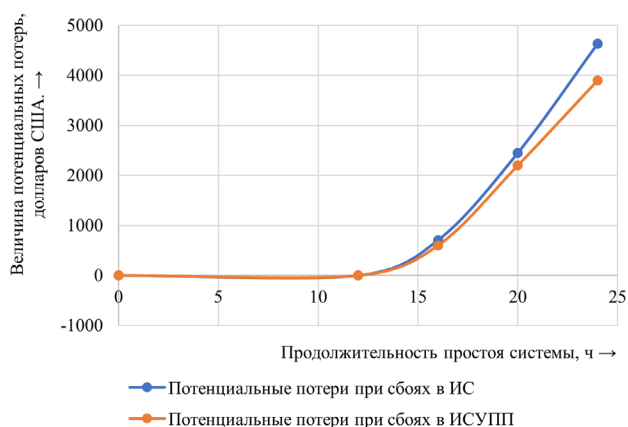


Рис. 7. График зависимости величины потенциальных экономических потерь Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в подсистеме регулирования перевозочного процесса

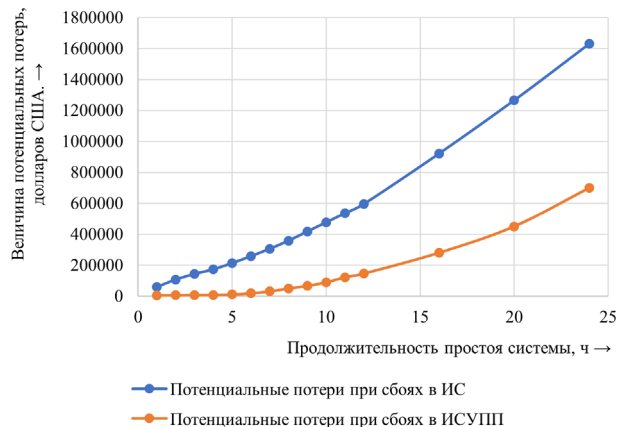


Рис. 8. График зависимости величины потенциальных экономических потерь Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в ИАС ПУР ГП и ИСУПП

- ◆ При реализации задач оперативного планирования ИСУПП дает возможность снизить потенциальные потери в 4,5–7,5 раза (при периоде сбоя, равном 24 часа) за счет увеличения глубины планирования.

Зависимость суммарного размера ущерба для Белорусской железной дороги в зависимости от продолжительности сбоев в ИАС ПУР ГП и ИСУПП приведена на рис. 8. Расчеты выполнены для объема среднесуточного грузооборота (тарифного), равного 7769 421 т·км брутто.

Таким образом, переход от информационных к интеллектуальным планирующим системам позволяет снизить потенциальные потери от сбоев не менее чем в 2,3 раза.

Выводы и предложения

С целью снижения рисков и ущерба в системе организации перевозочного процесса на железной дороге при возникновении сбоев в информационных системах дорожного уровня необходимо предусматривать предупредительные меры и профилактические мероприятия.

Дополнительно можно рекомендовать следующие действия:

- ◆ создание полноценных резервов программно-аппаратных комплексов ИАС ПУР ГП и ИСУПП, в том числе формирование «горячего» и «холодного» резервов. В настоящее время все оборудование находится в непрерывной эксплуатации и такие резервы отсутствуют;
- ◆ внедрение методов, сокращающих время восстановления программно-технических комплексов. К таким мероприятиям можно отнести разработку и применение эффективных программных тестов и контрольной аппаратуры, построение устройств на типовых унифицированных блоках с созданием их резерва; повышение квалификации обслуживающего персонала, в том числе путем проведения специализированных курсов и тематических учений;
- ◆ резервирование каналов связи между вычислительным центром и основными пользователями, в первую очередь Центром управления перевозками;
- ◆ разработка технологий функционирования линейных предприятий в условиях отсутствия связи с Главным расчетно-информационным центром. К ним можно

отнести безмашинное формирование поездной документации и станционной отчетности, ведение графиков исполненного движения, формирование сортировочных листов, натурных листов на поезд и т.п.

Таким образом, внедрение интеллектуальных технологий в систему управления перевозочным процессом не только позволяет за счет создания и использования предиктивных моделей решать новые технологические задачи, но и существенно снижает эксплуатационные и экономические риски, особенно в условиях возможных сбоев в цифровой инфраструктуре. ■

■ **Summary.** This article examines the risks of potential economic losses that may arise from failures in automated and intelligent rail transportation management systems. A methodology for assessing the impact of failures on the transportation management system is proposed. Calculations are made and patterns of the impact of failures in automated and intelligent systems on the transportation management system are established, including the operational management of train, station, and freight operations; operational planning of train, freight, and station operations; and operational regulation. It is proven that the transition from information to intelligent planning systems can significantly reduce potential losses from failures in the transportation management system. Recommendations are given for mitigating risks and damage in the transportation management system.

■ **Keywords:** rail transport, intelligent management systems, transportation process, failure, risks, potential economic losses.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-11-73-77>

Статья поступила в редакцию
09.07.2025 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ерофеев А.А. Интеллектуальная система управления перевозочным процессом: [монография]. – Гомель, 2022.
2. Альгин А.П. Риск и его роль в общественной жизни. – М., 1989.
3. Ерофеев А.А. Влияние сбоев в информационно-управляющих системах на перевозочный процесс // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. 2017. №1 (34). С. 46–50.
4. Программный комплекс имитационного моделирования технологического процесса переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной сортировочной станции «ПК ИМ ТП ПТВ ЖДС». (свидетельство о регистрации №С20110009; заявл. 26.01.2011; зарегистр. 10.02.2011 / Нац. центр интеллектуальной собственности Респ. Беларусь. – 2011).
5. Ерофеев А.А. Оценка влияния внедрения интеллектуальных систем на надежность системы управления перевозочным процессом // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XII междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги: в 2 ч. / под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель, 2022. С. 21–25.
6. Методические рекомендации по расчету экономических параметров, позволяющих оценить технологические процессы эксплуатационной работы основного вида деятельности – «Деятельность железнодорожного транспорта», приказ от 17.12.2018 №333Н.

ИММУННЫЙ СТАТУС ПАЦИЕНТОВ

после трансплантации печени
при комбинированной локальной
и системной терапии мезенхимальными
стволовыми клетками

УДК 616-08-07:[602.9:616-089.843:611.36]

Сергей Коротков,
заведующий отделом
трансплантологии МНПЦ
хирургии, трансплантологии
и гематологии, кандидат
медицинских наук, доцент;
skorotkov@tut.by

Виктория Смольникова,
ведущий научный сотрудник
научного отдела МНПЦ хирургии,
трансплантологии и гематологии,
кандидат биологических наук

Виктория Гриневич,
заведующая клинично-
диагностической
лабораторией МНПЦ хирургии,
трансплантологии и гематологии

Олег Коротков,
врач-интерн МНПЦ хирургии,
трансплантологии и гематологии

Денис Ефимов,
врач-хирург отделения
трансплантации МНПЦ хирургии,
трансплантологии и гематологии,
кандидат медицинских наук,
доцент

Светлана Кривенко,
заместитель директора
по науке МНПЦ хирургии,
трансплантологии и гематологии,
доктор медицинских наук,
профессор

Олег Руммо,
директор МНПЦ хирургии,
трансплантологии и гематологии,
академик, профессор



Аннотация. Представлены результаты влияния комбинированной локальной и системной терапии мезенхимальными стволовыми клетками (МСК) на иммунофенотипический профиль (ИФТ) мононуклеарных клеток периферической крови (МПК) у пациентов после трансплантации печени. В исследовании 30 пациентов получали терапию МСК, 30 находились на стандартной иммуносупрессивной терапии. Показано, что в первой группе наблюдалось более быстрое функциональное восстановление трансплантата с ускоренным снижением уровня АЛТ на 7-е и 10-е сутки при статистически значимой более низкой концентрации такролимуса во все сроки наблюдения. Частота иммуноопосредованной дисфункции трансплантата в обеих группах составила 20%, однако в группе МСК отмечен более низкий индекс активности отторжения и отсутствие случаев гуморального отторжения. ИФТ выявило снижение абсолютного количества CD16+56+ естественных киллеров, CD3+CD4+ и CD3+CD8+ эффекторных Т-клеток памяти, наивных зрелых В-лимфоцитов и В-клеток маргинальной зоны при повышении уровня миелоидных и плазмоцитоподобных дендритных клеток и иммуносупрессивных В1а-лимфоцитов в группе МСК.

Ключевые слова: трансплантация печени, мезенхимальные стволовые клетки, иммуносупрессия, иммунофенотипирование, отторжение трансплантата.

Для цитирования: Коротков С., Смольникова В., Гриневич В., Коротков О., Ефимов Д., Кривенко С., Руммо О. Иммунный статус пациентов после трансплантации печени при комбинированной локальной и системной терапии мезенхимальными стволовыми клетками // Наука и инновации. 2025. №11. С. 78–83.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-11-78-83>

Трансплантация печени (ТП) – безальтернативный метод лечения пациентов с терминальными стадиями печеночной недостаточности [1]. Несмотря на существенный прогресс в области трансплантационной медицины, остаются актуальными проблемы, связанные с отторжением донорского органа и нежелательными эффектами традиционной иммуносупрессивной терапии (ИСТ), что диктует необходимость разработки более безопасных и эффективных подходов к подавлению иммунного ответа [2–4]. В этом контексте особого внимания заслуживает клеточная терапия с использованием МСК, демонстрирующих эффективные иммуномодулирующие свойства [5]. Их уникальная способность ингибировать активность цитотоксических лимфоцитов и стимулировать регуляторные звенья иммунитета открывает перспективы для формирования состояния иммунологической толерантности к аллоантигенам трансплантата печени [6–9]. Цель данного исследования – оценка характеристик иммунофенотипического профиля моноклеарных клеток периферической крови у пациентов после ТП, получающих локальную и системную терапию МСК, в сопоставлении с группой, где применялась стандартная ИСТ.

Материалы и методы

В рамках интервенционного рандомизированного проспективного сравнительного исследования было проведено изучение особенностей иммунного статуса пациентов после ТП. Основную группу составили 30 реципиентов печеночного трансплантата, получавших терапию МСК, контрольную – 30 реципиентов, которым проводилась стандартная ИСТ согласно [10]. Критерии включения были следующие: цирроз печени (ЦП) – степень тяжести по Child-Pugh 10 баллов и более; интраоперационная кровопотеря более 1200 мл; возраст 18 лет и старше; ТП от донора со смертью мозга.

В исследовании использовался биомедицинский клеточный продукт «Клетки мезенхимальные человека ТУ ВУ 100660677.001» (регистр. удостоверение №ИМ-7.101480, регистр. №Мн-7.117650-1402, дата регистрации: 29.05.2014 г.), содержащий аллогенные жировые МСК. Качество соответствовало критериям, установленным Международным обществом клеточной терапии (ISCT) в 2006 г. [11].

Методика введения МСК включала: 1) локальное внутривенное интраоперационное введение в объеме 20×10^6 клеток; 2) системное внутривенное интраоперационное введение в день операции в объеме 2×10^6 МСК/кг массы тела реципиента и на 4-е сутки после операции (СПО) в таком же объеме.

Иммунофенотип моноклеаров периферической крови (ИФТ МПК) определяли с помощью многоцветной проточной цитофлуориметрии на аппарате FACSLyric (Becton Dickinson, США), оснащенном тремя лазерами с длиной волны 488, 633 и 405 нм, путем детекции 10 каналов флуоресценции. Сбор и анализ данных производили в программе FACSuite (v.5.1).

Гистологическое и иммуногистохимическое исследование трансплантата для оценки степени и выраженности отторжения выполнялось согласно критериям Банфф и по индексу активности отторжения RAI. Гуморальное отторжение диагностировалось путем определения C4d-компонента.

Статистический анализ проводился в программе Statistica 8.0 (StatSoft Inc., США) с определением нормальности распределения тестом Шапиро – Уилка, представлением данных как медиана (Me) с интерквартильным интервалом [Q25; Q75]. Сравнение количественных показателей осуществляли критерием Манна – Уитни (MW), качественных – точным критерием Фишера с таблицами сопряженности (F).

Результаты и обсуждение

По характеру патологии и основным клинико-демографическим показателям реципиенты обеих групп были сопоставимы.

В послеоперационном периоде они получали комплексную ИСТ тремя препаратами: такролимусом, микофенолатом мофетилем и метилпреднизолоном. Такролимус начинали вводить с 1-х СПО в дозе 0,1 мг/кг/сут. В случаях развития острого повреждения почек применение ингибиторов кальцинейрина временно приостанавливали. У пациентов группы, получавшей МСК,

поддерживали более низкую концентрацию такролимуса в крови (ниже 5 нг/мл) [10].

Анализ лабораторных данных функции трансплантата продемонстрировал более быстрое восстановление в группе, получавшей МСК: отмечалось статистически значимое ускоренное снижение уровня АЛТ на 7-е и 10-е СПО (MW, $p<0,05$; табл. 1).

Концентрация такролимуса у них также была статистически значимо ниже в различные сроки послеоперационного периода (MW, $p<0,05$; табл. 2).

Частота гистологически верифицированного отторжения у групп не различалась. У пациентов, получавших МСК, было выявлено 6 случаев (20%) острого клеточного отторжения (ACR) с RAI 6 (4; 7) баллов. В группе сравнения – 6 эпизодов (20%) иммунологической дисфункции, из которых 5 (16,7%) представлено ACR с RAI 7 (4; 8) баллов и 1 случай (3,3%) – острым гуморальным отторжением (F, $p>0,05$).

Наблюдаемые различия в концентрации такролимуса свидетельствовали о значимом клиническом преимуществе МСК: возможность снижения дозы данного препарата при сохранении оптимальной функции

Сутки	Группа	Сутки			
		1-е	4-е	7-е	10-е
АЛТ, Ед/л	МСК	938 (282; 1178)	332 (96; 391)	116 (67; 215)*	68 (34,5; 135)*
	Контр	1055 (530; 1322)	306 (191; 487)	184 (110; 298)	99,5 (65,5; 187,5)

Таблица 1. Сравнительная характеристика лабораторных показателей функции печени в послеоперационном периоде

Примечание: здесь и в табл. 3–8: * – отличие достоверно ($p<0,05$) по отношению к контрольной группе

Сутки	Группа	СПО				
		2	4	7	10	14
такролимус, нг/мл	МСК	0 (0; 0)	0,9 (0; 2,8)	2,9 (0,5; 5,2)	4,4 (2; 6)	4,8 (2,4; 5,7)
	контр	1 (0; 2,05)	2,1 (1; 3,5)	4 (2,2; 6,8)	5,5 (3,8; 7,3)	6,3 (4,2; 8,8)
MW, p		$p=0,003$	$p=0,002$	$p=0,017$	$p=0,029$	$p=0,005$

Таблица 2. Сравнительная характеристика маркеров воспалительного синдрома

трансплантата. Полученный результат подтверждается комплексной оценкой биохимических маркеров функционального состояния последнего, а также результатами морфологического исследования, демонстрирующими одинаковую частоту развития иммуноопосредованной дисфункции трансплантата в обеих группах, при этом с менее выраженными гистологическими признаками отторжения (более низкий RAI) у пациентов с терапией МСК.

Сравнительный анализ ИФТ МПК у представителей обеих групп показал следующее. Оценка

основных популяций лимфоцитов периферической крови выявила тенденцию к более низкому уровню абсолютного количества CD16+CD56+ЕК-лимфоцитов у пациентов, получавших МСК, со статистически значимой разницей абсолютного количества на 4–14-е СПО (MW, $p<0,05$; табл. 3).

Достоверное снижение популяции CD19+ В-лимфоцитов также наблюдалось в этой группе (табл. 3).

Углубленный анализ популяций CD3+Т-лимфоцитов – CD3+CD4+Т-хелперов, CD3+CD8+Т-цитотоксических лимфоцитов и их субпопуляций

Группа		СПО				
		0-е	4-е	7-е	10-е	14-е
CD16+56+ЕК-клетки						
МСК	тыс/мкл	0,1291 (0,0737; 0,1692)	0,0266* (0,0163; 0,0383)	0,0646* (0,0287; 0,1027)	0,0861* (0,0646; 0,1386)	0,0935* (0,07; 0,1359)
Контроль		0,1428 (0,0677; 0,2172)	0,0432 (0,021; 0,0652)	0,0943 (0,0534; 0,1615)	0,1466 (0,0763; 0,2174)	0,1373 (0,0724; 0,2307)
CD19+(В-лимфоциты)						
МСК	тыс/мкл	0,105190992 (0,041; 0,1818)	0,1069* (0,0609; 0,2007)	0,1025* (0,0482; 0,2525)	0,1516* (0,0815; 0,2586)	0,1031* (0,0913; 0,1485)
Контроль		0,09840285 (0,046; 0,2082)	0,1743 (0,0788; 0,2763)	0,1766 (0,0893; 0,4239)	0,2375 (0,1336; 0,4112)	0,1648 (0,0908; 0,3955)

Таблица 3. Характеристика основных популяций мононуклеаров периферической крови

(наивных клеток, центральных, эффекторных и терминально-дифференцированных клеток памяти) выявил более низкие значения относительного и абсолютного уровня CD3+CD4+Т-центральных (TCM) и CD3+CD4+Т-эффекторных (TEM) клеток памяти с достоверно значимым различием на 4-е и 7-е СПО (MW, $p<0,05$; табл. 4).

Аналогичная тенденция наблюдалась в популяции CD3+CD8+ цитотоксических ТСМ-лимфоцитов. Статистически значимые различия в их относительном количестве были

зафиксированы на 10-е СПО (MW, $p=0,04$; табл. 4).

Анализ субпопуляций дендритных клеток показал стабильный более низкий уровень относительного и абсолютного количества плазмоцитоидных дендритных клеток (pDC) в контрольной группе на протяжении всего раннего послеоперационного периода (РПОП). На 10-е СПО уровень относительного и абсолютного количества pDC был статистически достоверно ниже и составил в группе контроля 0,011 (0,006; 0,024)% и

0,00109 (0,0005; 0,0024)×10³/мкл соответственно. В группе МСК эти показатели были выше – 0,025 (0,004; 0,055)% и 0,00309 (0,0004; 0,0064)×10³/мкл соответственно (MW, $p<0,05$).

Изучение миелоидных дендритных клеток (mDC) показало волнообразную динамику в РПОП. На 10-е СПО в группе МСК зафиксировано статистически значимое повышение относительного количества mDC – 0,222 (0,105; 0,31)% по сравнению с 0,125 (0,0785; 0,257)% в группе контроля (MW, $p=0,04$).

Группа		СПО				
		0-е	4-е	7-е	10-е	14-е
CD3+CD4+CD45RA-CD62L+ (центральные Т-клетки памяти, TCM)						
МСК	тыс/мкл	0,2133 (0,1473; 0,4055)	0,055* (0,0394; 0,0848)	0,1481* (0,1209; 0,2241)	0,2804 (0,1845; 0,3704)	0,2928 (0,1037; 0,336)
Контроль		0,2263 (0,1275; 0,4076)	0,0787 (0,0549; 0,1541)	0,19635 (0,1092; 0,3528)	0,2558 (0,1481; 0,4581)	0,243 (0,1524; 0,4585)
CD3+CD4+CD45RA-CD62L- (эффекторные Т-клетки памяти, TEM)						
МСК	%	14,75 (9,15; 23,75)	7,75* (6,25; 15,15)	9,1* (7,75; 15,7)	10,9 (8,1; 22,5)	13 (9,6; 19,2)
Контроль		16,65 (13,9; 25,7)	15,2 (9,5; 20,6)	13,75 (9,95; 18,85)	14,8 (10,5; 18,95)	16,6 (11,7; 20,4)
МСК	тыс/мкл	0,1076 (0,0396; 0,1466)	0,0129* (0,0085; 0,0344)	0,0289* (0,0184; 0,0643)	0,0674 (0,0382; 0,1196)	0,0721 (0,0305; 0,1013)
Контроль		0,0914 (0,044; 0,1854)	0,0258 (0,0162; 0,0569)	0,0605 (0,0321; 0,1071)	0,0761 (0,0452; 0,1199)	0,0885 (0,0454; 0,1822)
CD3+CD8+ CD45RA- CD62L+ (центральные Т-клетки памяти, TCM)						
МСК	%	12,65 (9,4; 17,8)	11,6 (7,5; 15,15)	17,2 (12,7; 35,85)	12,4* (10,3; 16,1)	13,3 (11,3; 19,7)
Контроль		14,3 (8,45; 22,35)	11,6 (7,3; 19,2)	17,15 (11,05; 24,9)	16,75 (10,9; 23,9)	16,6 (10,6; 22,8)

Таблица 4. Характеристика субпопуляций CD3+CD4+ и CD3+CD8+Т-лимфоцитов

Группа		СПО				
		0-е	4-е	7-е	10-е	14-е
CD19+ наивные зрелые-CD19+ CD27- IgD+ IgM+ (naive B cells)						
МСК	тыс/мкл	0,0801 (0,0283; 0,1441)	0,0869 (0,0317; 0,1908)	0,0791* (0,0261; 0,1816)	0,1140 (0,0391; 0,2037)	0,0854* (0,0547; 0,1272)
Контроль		0,0631 (0,0328; 0,1421)	0,1229 (0,0593; 0,2014)	0,1821 (0,0582; 0,2579)	0,1764 (0,0854; 0,3064)	0,1716 (0,0715; 0,3664)

Таблица 5. Характеристика субпопуляции наивных В-лимфоцитов

Абсолютное количество mDC также было выше в группе МСК – 0,0191 (0,0068; 0,0345)×10³/мкл по сравнению с 0,0142 (0,0084; 0,0292)×10³/мкл с тенденцией к статистической значимости (MW, $p=0,08$).

Анализ ИФТ CD19+В-лимфоцитов после ТП показал, что в группе реципиентов, получавших МСК, абсолютное количество наивных зрелых CD19+ В-клеток было ниже. На 7-е СПО отмечалось достоверное отличие в абсолютном количестве naïve B cells (MW, $p=0,03$; табл. 5).

Уровень МЗВ-клеток и В1а-лимфоцитов соответствовал толерантному иммунофенотипу. Абсолютное количество В-клеток маргинальной зоны в основной группе было ниже и на 7-е СПО имело статистическую значимость 0,0104 (0,0043; 0,0227)×10³/мкл в группе МСК против 0,0218 (0,0054; 0,0312)×10³/мкл в контрольной (MW, $p=0,02$), а уровень В1а-лимфоцитов на 14 СПО был выше, что составило 5,1 (1,8; 16,5)% и 3,95 (2,35; 10,4)% соответственно (MW, $p=0,04$).

Анализ субпопуляций В-лимфоцитов, согласно классифика-

ции Вm1–Вm5 (по экспрессии маркеров IgD/CD38), продемонстрировал повышенный уровень абсолютного количества эффекторных клеток Вm2, Вm2' и Вm5 в контрольной группе по сравнению с группой МСК (табл. 6).

Длительность пребывания в отделении интенсивной терапии в группе МСК составила 3 (2; 4) суток, в группе контроля – 4 (3; 6); длительность стационарного лечения – 17 (15; 23) и 20 (16; 26) суток соответственно (MW, $p>0,05$).

Проведенное исследование показало, что комбинированное локальное и системное введение МСК ускоряет функциональное восстановление трансплантированной печени, что достигается благодаря влиянию МСК на алло-иммунные реакции.

Морфологический анализ биопсийного материала подтвердил, что терапия МСК снижает вероятность отторжения трансплантата. В случаях же его возникновения его течение характеризуется меньшей агрессивностью, а риск развития гуморального (антитело-опосредованного) отторжения существенно снижается.

Исследование иммунофенотипа мононуклеарных клеток периферической крови продемонстрировало иммуномодулирующее действие МСК посредством нескольких механизмов. Во-первых, подавляется эффекторный путь развития острого клеточного отторжения – угнетается активность CD16+56+ естественных киллеров, CD3+CD4+ и CD3+CD8+ эффекторных Т-клеток.

Во-вторых, МСК способствуют поддержанию численности дендритных клеток. В группе пациентов, получающих только стандартную ИСТ, наблюдается уменьшение количества обоих типов DC, что связано с их миграцией в трансплантированный орган и лимфоидные ткани, где они запускают иммунный ответ.

В-третьих, снижение количества наивных зрелых В-лимфоцитов и В-клеток маргинальной зоны в сочетании с ростом иммуносупрессивных В1а-лимфоцитов приводит к уменьшению выработки анти-HLA антител и ограничивает возможности развития гуморального иммунного ответа.

Полученные данные коррелируют с литературными

Группа		СПО				
		0-е	4-е	7-е	10-е	14-е
Вm2 (наивные активированные)						
МСК	тыс/мкл	0,0708 (0,0259; 0,1278)	0,0712 (0,0174; 0,1438)	0,07163* (0,0209; 0,1575)	0,1033* (0,0326; 0,1685)	0,0841* (0,0307; 0,0934)
Контроль		0,0549 (0,0309; 0,1279)	0,1232 (0,0431; 0,1688)	0,1469 (0,0548; 0,2307)	0,1840 (0,0724; 0,2672)	0,1675 (0,0552; 0,2597)
Вm2' (герминальный центр)						
МСК	тыс/мкл	0,0049 (0,0021; 0,0158)	0,0063 (0,0016; 0,0149)	0,0029* (0,0007; 0,0123)	0,0127 (0,0022; 0,0264)	0,0019 * (0,0006; 0,0072)
Контроль		0,0051 (0,0019; 0,0144)	0,0075 (0,0021; 0,0158)	0,0087 (0,0051; 0,0183)	0,0137 (0,0044; 0,0261)	0,0110 (0,0018; 0,0283)
Вm5						
МСК	тыс/мкл	0,0024 (0,0013; 0,007)	0,0031 (0,0021; 0,0044)	0,0036 * (0,0016; 0,0048)	0,0039* (0,0025; 0,0149)	0,0035* (0,0008; 0,0078)
Контроль		0,0025 (0,0013; 0,0050)	0,00364 (0,0016; 0,0073)	0,0043 (0,0020; 0,0136)	0,0053 (0,0034; 0,0101)	0,0052 (0,0026; 0,0095)

Таблица 6. Характеристика субпопуляций В-лимфоцитов по экспрессии IgD/CD38

данными [12–14] и результатами ранее проведенных нами исследований по изучению иммунологической толерантности [15] и неинвазивной диагностике отторжения при пересадке почки [16].

Выводы

Комбинированная локальная и системная терапия МСК способствует ускоренному восстановлению функции трансплантационной печени, что подтверждается более быстрой нормализацией уровня АЛТ на 7-е и 10-е СПО, а также позволяет снизить дозировку такролимуса при сохранении оптимальной функции трансплантата.

При развитии иммунологической дисфункции терапия МСК способствует протеканию отторжения в менее выраженной форме и отсутствию случаев острого гуморального отторжения.

Иммуномодулирующий эффект МСК реализуется посредством подавления эффекторного звена иммунитета: снижением активности CD16+56+ ЕК, CD3+CD4+ и CD3+CD8+ эффекторных Т-клеток; поддержания численности миелоидных и плазмоцитоидных дендритных клеток и снижения количества наивных зрелых В-лимфоцитов и В-клеток маргинальной зоны при одновременном увеличении доли иммуносупрессивных В1а-лимфоцитов.

Полученные результаты подтверждают перспективность применения МСК в качестве дополнительного компонента иммуносупрессивной терапии при трансплантации печени для улучшения клинических исходов, сокращения сроков пребывания пациентов в отделении интенсивной терапии и общей продолжительности стационарного лечения, а также повышения качества их жизни. ■

■ **Summary.** Evaluate the effect of combined local and systemic therapy with mesenchymal stem cells (MSCs) on the immunophenotypic profile (IPT) of peripheral blood mononuclear cells (PBMCs) in patients after liver transplantation. Materials and methods: In a randomized prospective study, 30 patients received MSC therapy, while 30 patients were on standard immunosuppressive therapy. IPT of PBMCs was performed using multicolor flow cytometry. Functional parameters of the graft, tacrolimus concentration, morphological signs of rejection, and clinical outcomes were evaluated.

The MSC group showed faster functional recovery of the graft with accelerated decrease in ALT levels on days 7 and 10 ($p < 0.05$) with significantly lower tacrolimus concentration throughout the observation period. The frequency of immune-mediated graft dysfunction in both groups was 20%; however, the MSC group showed a lower rejection activity index (RAI 6 (4; 7) versus 7 (4; 8) points) and no cases of humoral rejection. IPT revealed a decrease in the absolute number of CD16+56+ natural killer cells, CD3+CD4+ and CD3+CD8+ effector memory T cells, naive mature B lymphocytes, and marginal zone B cells, with increased levels of myeloid and plasmacytoid dendritic cells and immunosuppressive B1a lymphocytes in the MSC group.

■ **Keywords:** liver transplantation, mesenchymal stem cells, immunosuppression, immunophenotyping, graft rejection.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-11-78-83>

Статья поступила в редакцию 28.07.2025 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. EASL Clinical Practice Guidelines on liver transplantation / D. Samuel [et al.] // *Journal of Hepatology*. 2024. Vol. 81, №6. P. 1040–1086. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2024.07.032>.
2. Antibody mediated rejection in liver transplantation: immunopathological characteristics and longterm follow-up / L. Cicalese [et al.] // *Transplant International*. 2024. Vol. 37. P. 132–132. <https://doi.org/10.3389/ti.2024.13232>.
3. Sensing acute cellular rejection in liver transplant patients using liver derived extracellular particles: a prospective, observational study / K. Kamali [et al.] // *Frontiers in Immunology*. 2021. Vol. 12. P. 6479–6500. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.647900>.
4. Longterm outcomes of patients undergoing liver transplantation for acute on chronic liver failure / V. Sundaram [et al.] // *Liver Transplantation*. 2020. Vol. 26, N12. P. 1594–1602. <https://doi.org/10.1002/lt.25831>.
5. Immunosuppressive drugs in liver transplant: an insight / C. Panackel, J. F. Mathew, M. Fawas, M. Jacob // *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*. 2022. Vol. 12, №6. P. 1557–1571. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2022.06.007>.
6. Rationale for the potential use of mesenchymal stromal cells in liver transplantation / M. Vandermeulen [et al.] // *World Journal of Gastroenterology*. 2014. Vol. 20, №44. P. 16418–16432. <https://doi.org/10.3748/wjg.v20.i44.16418>.
7. Mesenchymal stem cell therapy for liver transplantation: clinical progress and immunomodulatory properties / F. Wen [et al.] // *Stem Cell Research and Therapy*. 2024. Vol. 15, №320. P. 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13287-024-03943-6>.
8. Применение мезенхимальных стромальных клеток при трансплантации солидных органов: вызовы и перспективы / Ю.Б. Басок [и др.] // *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2025. Т. XXVII, №1. С. 114–134. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2025-1-114-134>.
9. Allogeneic mesenchymal stem cells as induction therapy are safe and feasible in renal allografts: pilot results of a multicenter randomized controlled trial / Q. Sun [et al.] // *Journal of Translational Medicine*. 2018. Vol. 16, №52. P. 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12967-018-1422-x>.
10. Клинический протокол «Трансплантация печени (взрослое и детское население)» (утвержден МЗ РБ 13.02.2023 №31) // <http://minzdrav.gov.by>.
11. Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement / M. Dominici [et al.] // *Cytotherapy*. 2006. Vol. 8, №4. P. 315–317. <https://doi.org/10.1080/14653240600855905>.
12. Donor-derived mesenchymal stem cells combined with low-dose tacrolimus prevent acute rejection after renal transplantation: a clinical pilot study / Peng Y. [et al.] // *Transplantation*. 2013. Vol. 95, №1. P. 161–168. <https://doi.org/10.1097/TP.0b013e3182754c53>.
13. Dendritic cells: regulators of alloimmunity and opportunities for tolerance induction / A. Morelli, A. Thomson // *Immunol. Rev.* 2004. Vol. 196, №11. P. 125–46. <https://doi.org/10.1046/j.1600-065X.2003.00079.x>.
14. Dendritic cell subsets and lineages, and their functions in innate and adaptive immunity / Y. Liu // *Cell*. 2001. Vol. 106, №3. P. 259–262. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(01\)00456-1](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(01)00456-1).
15. CD4+ Т-клетки и их субпопуляции как прогностический маркер острого отторжения при трансплантации почки / С. Коротков [и др.] // *Наука и инновации*. 2016. №8. С. 33–36.
16. Эффекторные CD4+ Т-лимфоциты и дендритные клетки – неинвазивные биомаркеры позднего клеточного отторжения при трансплантации почки / А. Носик [и др.] // *Трансплантология*. 2018. Т. 10, №3. С. 207–216.

Yulia Borodun

Key aspects of pharmaceutical safety 4

The main vectors of the Belarusian state's policy in the field of pharmaceutical safety are presented.

Elena Kalinichenko, Alexander Farina, Svetlana Babitskaya

Research and development in pharmaceutical substances ... 6

The article analyzes the research conducted by the Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus in the field of drugs and pharmaceutical substances at the KhimPharmSintez Research and Production Center.

Zoya Kuvaeva

The Institute of Physical and Organic Chemistry's Contribution to national health 10

There have been presented the developments of the Institute of Physical and Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus in pharmaceutical substances and drugs, their production being organized on its basis.

Elena Koroleva

New antitumor agents 12

There has been highlighted the pharmaceutical industry's priorities such as the production of drugs for the treatment of oncological diseases.

Andrey Goncharov, Irina Bushmakina, Elena Duzh, Natalia Antonevich, Svetlana Sukhoveeva, Lyudmila Kabashnikova, Elena Kabachevskaya

Biotechnological collection of human, animal, higher plant, algae, and cyanobacteria cell cultures 15

The Biotechnological collection of human, animal, callus of higher plants, algae strains, and cyanobacteria cell cultures has been presented, providing a unique platform for scientific research.

Elena Raduta, Oleg Kuznetsov

Biochemistry and alcoholism: new horizons in therapy 20

The article considers the results of interdisciplinary research into fundamental aspects of vitaminology, and the potential use of vitamins and their derivatives. It also explores the impact of alcohol on the body, the development of alcohol dependence, and the potential for managing various disorders caused by alcohol abuse.

Ksenia Nazarova, Olga Molchan, Olga Rummyantseva, Evgeny Filatov

Innovative potential and quality standards of ACADEMPHARM 23

The article describes the operating characteristics of the knowledge-intensive pharmaceutical company "ACADEMPHARM", which boasts high scientific, technical, and human resources potential, enabling it to conduct comprehensive research and manufacture pharmaceutical products.

Vasily Dadalko, Nikita Krivoruchko

Modern approaches to assessing the effectiveness of innovative development management 25

The article considers the traditional and new methods for assessing the effectiveness of innovative development. Emphasized is the need to move from cost-based approaches to analyzing the systemic impact of innovation, including environmental, social, and institutional ones, as well as taking into account delayed and intangible effects.

Vladimir Gusakov

Science in Belarus: opportunities and results of development 31

The author examines the National Academy of Sciences of Belarus as an established, integrated, multifunctional system and identifies a number of specific conditions for its sustainable and effective further development.

Katsiaryna Tauhen

Cuba's economic relations with the states of Greater Eurasia 35

The article analyses the priority areas for the development of economic ties between Cuba and such states of Greater Eurasia as China, Turkey, India, and Iran.

Vadim Demidchik, Margarita Mysleyko, Vladislav Bondarenko, Maxim Patrin, Veronika Artishevskaya, Dmitry Afonnikov, Maria Chernysh

Plant Phenomics 39

The article examines various aspects of the plant phenomics development which is a new field of omics research that studies the characteristics of plant phenotypes in relation to their physiological responses, gene expression, protein activity, and the presence of metabolite assemblies.

Ivan Saverchanka

The origins of the Belarusian ethnic group 50

The origin of Belarusians, the formation of their civilizational, linguistic, and cultural affiliation starting from prehistoric times and the era of antiquity are analyzed. It is stated that Belarusians are an ancient ethnic group of the population of Eurasia, which took an active part in many world-known, fateful for the continent historical events.

Aleh Dziarnovich, Andrei Likhachou

An unknown underwater object in the Braslav region: research problems and prospects for study 57

There are given the research results of the investigated engineering structures remains found at the bottom of Lake Dzerba in the Braslav district. The authors give the prior conclusions about the purpose of the studied object, historical period and a certain economic department it belonged to.

Alexander Shchavlev, Igor Aniskov, Yury Semak, Inna Markova, Anh Xuan Nguyen

Observations of the atmospheric planetary boundary layer using an unmanned platform 65

The authors presented a new technological concept for precise observations of the atmospheric boundary layer. There were shown the advantages of this development for various purpose measurements, from meteorological forecasting to environmental monitoring.

Aliaksandr Yerafeyeu

Assessing the failures in railway information and intelligent systems impact on the transportation process 73

Calculations are made and patterns of the automated and intelligent systems failures impact on the transportation management system are established. It is proven that move from information to intelligent planning systems can significantly reduce potential losses from failures in the transportation management system.

Sergey Korotkov, Victoria Smolnikova, Victoria Grinevich, Oleg Korotkov, Denis Efimov, Svetlana Krivenko, Oleg Rummo

Immune status of liver transplant patients receiving combined local and systemic mesenchymal stem cell therapy 78

Combination mesenchymal stem cell therapy has been shown to promote accelerated restoration of transplanted liver function, to mitigate rejection in the event of rejection, and to prevent acute humoral rejection, helping to achieve better clinical outcomes and reduce hospital stays.



Книжные сокровища Национальной академии наук Беларуси: по материалам фондов Центральной научной библиотеки имени Якуба Коласа / Национальная академия наук Беларуси, Центральная научная библиотека имени Якуба Коласа ; сост.: О. А. Губанова [и др.] ; редкол.: С. С. Юрецкий (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2025. – 383 с.

ISBN 978-985-08-3337-2.

Представленное издание посвящено 100-летию образования одной из крупнейших библиотек нашей страны – Центральной научной библиотеки имени Якуба Коласа НАН Беларуси и репрезентирует фонд редких книг и рукописей ЦНБ НАН Беларуси. Это собрание является одной из наиболее ценных книжных коллекций Беларуси, которая содержит инкунабулы, печатные памятники Великого Княжества Литовского, российские и западноевропейские издания XVI–XVIII вв., рукописные книги белорусских староверов и татар.

Издание адресуется историкам, библиотечным и музейным сотрудникам, преподавателям, студентам, краеведам и всем тем, кто интересуется вопросами культуры Беларуси, книговедением и историей книги.



Художественные коллекции князей Витгенштейнов в контексте европейского искусства XIX в. В двух томах. Том 2. Графика. Скульптура. Фотография / О. Н. Попко. – Минск : Беларуская навука, 2025. – 415 с. : ил.

ISBN 978-985-08-3349-5.

Исследование посвящено истории формирования художественных коллекций князей Витгенштейнов, являвшихся крупнейшими землевладельцами на территории Беларуси и Литвы. С 1830-х гг. до 1900 г. они смогли собрать разнообразные коллекции произведений живописи, графики, скульптуры и фотографии. Целью исследования стало изучение художественных коллекций, бытование которых связано с Беларусью, в контексте развития европейского искусства XIX в.

Второй том книги посвящен анализу собраний произведений графики, скульптуры и фотографии. Работа построена на основе принципа разделения на жанры. Издание богато иллюстрировано, включает приложения, содержащие хронологию формирования художественных коллекций, каталоги произведений графики и скульптуры и фрагменты генеалогических древ родов Витгенштейнов и Гогенлоэ-Шиллингсфюрст.

Предназначается искусствоведам, историкам, краеведам, преподавателям и студентам, а также всем, кто интересуется историей искусства.



Актуальные проблемы истории и культуры. Выпуск 6.

ISBN 978-985-08-3332-7.

Сборник посвящен актуальным вопросам всеобщей истории, международных отношений и геополитики. В представленных работах исследуются проблемы методологии, источниковедения и историографии названных направлений, анализируются теоретические и практические аспекты формирования и реализации исторической политики в Республике Беларусь и других странах.

Рекомендован профессиональным историкам, специалистам в области всеобщей истории, международных отношений, геополитики, преподавателям, студентам, а также всем, кто интересуется историей.

РУП «ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «БЕЛОРУССКАЯ НАУКА»

предлагает литературу

- по медицине
- искусствоведению
- литературоведению
- языкознанию
- этнографии
- фольклору
- естественным наукам

принимает заказы на печать

- бланки формата А₅, А₄, А₃
 - грамоты ● дипломы
 - канцелярские книги
 - блокноты ● блоки для записей
 - календари ● буклеты
 - проспекты (с разработкой дизайна)
- тираж от 1 экземпляра*

Получить информацию об изданиях и оформить заказ можно по телефонам:
+375 (17) 396-83-27,
370-64-17, 320-33-74.
Адрес: ул. Ф. Скорины, 40,
220084, г. Минск,
Республика Беларусь;
e-mail: belnauka@mail.ru;
сайт: www.belnauka.by

ЗНАТЬ ВСЕ НЕВОЗМОЖНО, НО МОЖНО УЗНАТЬ БОЛЬШЕ



научно-практический журнал
**Наука
и инновации**

220072, г. Минск, ул. Академическая, 1-129
тел.: (+375 17) 351-14-46 факс: (+375 17) 379-16-12
e-mail: nii2003@mail.ru

www.innosfera.by

 [@science_innovations](https://www.instagram.com/science_innovations)

ПОДПИСНЫЕ
ИНДЕКСЫ:

00753
007532

